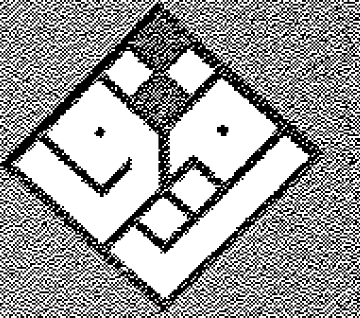
الكوارث الطبيعية

المجلد الأول





المشروع القومي للترجمة

604

تأليف : باتريك ل . آبوت

ترجمة : توفيق على منصور

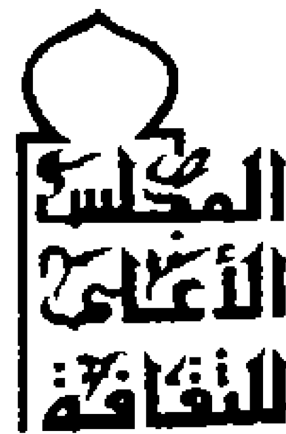
المشروع القومى للترجمة

الكوارث الطبيعية

(المجلد الأول)

تأليف : باتريك ل. أبُّوت

ترجمة : توفيق على منصور



٢٠٠٣

المشروع القومى للترجمة

إشراف : جابر عصفور

- العدد : ٦٠٤
- الكوارث الطبيعية (المجلد الأول)
- باتريك ل. أبُوت
- توفيق على منصور
- الطبعة الأولى ٢٠٠٣

هذه ترجمة كتاب :

Natural Disasters

Third Edition

by

Patrick L. Abbott

McGraw-Hill Higher Education,

A Division of The McGraw-Hill Companies

شارع الجبلاية بالأوبرا - الجزيرة - القاهرة ت ٧٣٥٢٣٩٦ فاكس ٧٣٥٨٠٨٤

El Gabalaya St.. Opera House, El Gezira, Cairo

Tel. : 7352396 **Fax :** 7358084

المحتويات

تصدير المترجم

مَن منّا لم يصبه أذى من جرّاء الظواهر الطبيعية؟ وتشمل الظواهر الطبيعية التى نألفها فى عالمنا العربى: الزلازل والبراكين والفيضانات والسيول والرياح والتصحر والانهيارات الأرضية والطقس القاسى والحرائق والكثافة السكانية وغيرها. ومعرفة طبيعة هذه الظواهر أولى الخطوات للوقاية من آثارها الضارة التى تهلك الحرث والنسل. ويندر أن يُلِمّ كتاب واحد ناطق بالعربية بمثل هذه الظواهر. على أن الإلمام بها لا يختص به الخبراء فى علوم الجغرافيا والجيولوجيا والبيئة والهندسة والأمن والصحة والشئون الاجتماعية فحسب، بل يهم كل إنسان يتعرض هو وممتلكاته لمخاطر هذه الظواهر الطبيعية.

تناولَت العديدُ من الكتب والدوريات هذه الظواهر وأخطارها فرادى، أما جَمْعُ هذه الظواهر فى مجلد واحد فقد أقدم عليه الدكتور محمد صبرى محسوب والدكتور محمد إبراهيم أرباب فى كتابهما: **الأخطار والكوارث الطبيعية: الحدث والمواجهة - معالجة جغرافية**، (القاهرة: دار الفكر العربى، ٢٠٠٠). وفى معرض الكتاب المنعقد فى يناير/ فبراير ٢٠٠٢ لمحت كتاب الدكتور **Patrick L.Abbott**، بعنوان **Natural Disasters** فى طبعته الثانية الصادرة فى عام ١٩٩٩ عن دار ماك جروهيل، فحصلت عليه وعرضته على المشرف على المشروع القومى للترجمة الأمين العام للمجلس الأعلى للثقافة ألتمس الموافقة على تكليفى بترجمته، فوافق مشكورا واتصل بالناشر يطلب الموافقة على ترجمته. ولكن الناشر أرجأ الموافقة حتى يصدر الطبعة الثالثة التى صدرت فى عام ٢٠٠٢. وما إن صدرت حتى أرسل إلى المجلس الأعلى للثقافة نسخة منها مشفوعة بالموافقة على الترجمة. وترجمةُ هذه النسخة هى الكتاب الذى بين أيدينا الآن.

ويتميز هذا الكتاب بالشرح الوافى لظواهر الطبيعة. ومصادر الطاقة التى تحدثها، والكوارث التى نجمت عنها، بأسلوب بسيط ودعم بالصور والأشكال والبيانات الإحصائية. فربَّ صورة تُغْنِى عن ألف كلمة. ورغم أن الكتاب يركز على وقائع حدثت

فى الولايات المتحدة، فهو يتناول الأحداث العالمية كذلك، بما فيها منطقة الشرق الأوسط التى نعيش فيها. وقد جمع المؤلف بين عمق الفكرة وشمولها بما يشبع نهم العلماء والباحثين؛ وخفة الظل وبساطة الطرح بما يجذب انتباه الطلاب والمثقفين.

فترجمة هذا الكتاب ليست بالأمر الهيِّن رغم ما به من عناصر التشويق والإبداع. فالتمكن من ناحية اللغة المنقول منها واجب، والتمكن من ناحية اللغة المنقول إليها أوجب. أما التمكن من المادة العلمية فهو أكثر وجوبا.

استهل مؤلف هذا الكتاب كلَّ فصل من فصوله بعبارة افتتاحية مأثورة لأحد مشاهير الكتاب أو الحكماء أو الفلاسفة؛ وسواء أكانت نثرا أم شعرا فقد قمتُ بترجمتها جميعا إلى الشعر الموزون فى كثير من الأحيان والمقفى فى بعض الأحيان؛ فأرجو أن أكون موفقا فى ذلك.

وليست هذه التجربة أولى المحاولات فى الترجمة الشعرية والترجمة العلمية، فقد سبقتها تجارب أخرى أصدرها المشروع القومى للترجمة فى الجزء الأول والجزء الثانى من كتابى: **مختارات شعرية مترجمة** شعرا بشعر. وترجمة الشعر أشد التزاما من ترجمة النثر الذى ينطق به هذا الكتاب: **الكوارث الطبيعية**. فالتمكن من ناصيتى اللغتين الإنجليزية والعربية ثابت والحمد لله.

أما التمكن من المادة العلمية فقد حشدت له جُلَّ طاقتى؛ فالخلفية الجغرافية والطبوغرافية والعلمية والجيولوجية متوافرة لدىَّ بالقدر الكافى لترجمة هذا الكتاب الشامل لشتى بحور المعرفة. فقراءة الخرائط والصور الجوية صدر لى فيها كتاب: **قراءة الخرائط (الطبوغرافيا)** (الرياض: مطابع الأمن العام، ١٩٩٤). والجغرافيا والجيولوجيا ترجمت فيها كتابًا بعنوان: **نهر النيل: مشاركة فى مورد نادر** وهو تحت الطبع فى مشروع الألف كتاب الثانى فى الهيئة المصرية العامة للكتاب. والبيئة والتنمية البشرية ترجمتُ فيها كتابًا بعنوان: **أرضنا الغاضبة**؛ أصدرت **مجلة الفيصل السعودية** ملخصا له. والزلازل والبراكين وغيرهما، جَمَعْتُ لها كثيرا من المراجع والمعاجم، منها:

د. محمد صبرى محسوب وآخر، **الأخطار والكوارث الطبيعية**

د. محمود أحمد عويضة، **تأملات فى الكون**

د. مصطفى محمود سليمان، **الزلازل**

د. زكريا هميمى، **الزلازل**

د. محمود توفيق سالم، **أساسيات الجيولوجيا الهندسية**

د. عبدالعزيز طريح شرف (مترجم)، **الجغرافيا فى مائة عام**

د. مختار رسمى ناشد (مترجم)، **ما هى الجيولوجيا؟**

د. سيد رمضان هدًارة (مترجم)، **طاقة الرياح: نقطة تحول**

د. عادل عبدالرحمن نجم، **كوارث الحريق، وكوارث السيول**

د. مصطفى إبراهيم فهمى (مترجم)، **الانقراض: جينات سيئة أم حظ سيئ ؟**

د. أحمد مستجير (مترجم)، **الجينوم البشرى**

م. على يوسف على (مترجم)، **الهيولية تصنع علما جديدا**

أ. سمير يسرى، **الطاقة الشمسية عالميا وعربيا**

مجمع اللغة العربية، **معجم الجيولوجيا**

ولجأت إلى العديد من الدوريات التى تغطى موضوعات الكتاب حتى يكون النقل أمينا ودقيقا قدر المستطاع.

سلك المؤلف فى عرض أفكاره ونظرياته وروايات شهود العيان للكوارث مسلكا تربويا؛ إذ يطرح القضية ويفسرها ويشرح نظرياتها بأسلوب مشوق وسرد طريف على شكل أسئلة يجيب عليها بالمختصر المفيد «ما قل ودل»، وكثيرا ما يلجأ إلى الحواشى الجانبية لتوضيح النقاط الغامضة. مدعما نصوصه بالأشكال التوضيحية والصور الجوية والجداول الإحصائية. ثم ينهى كل فصل بمجموعة من الأسئلة والاصطلاحات والمراجع المفيدة بما فيها أفلام الفيديو التى يمكن الرجوع إليها لمزيد من التأمل.

وسلك المترجم سبيل المؤلف؛ إذ ترجم أفكاره ونظرياته وروايات شهود العيان بأمانة وصدق؛ وأضاف إليها فى الهوامش ما يدعمها ويؤكدها مستعينا بالمصادر الموثوق بصحتها مثل **معجم الجيولوجيا** وغيره.

وفي كل فصل تأتى عبارات واصطلاحات تعددت ترجماتها فى مختلف الكتب، ولكننى لجأت فى توثيقها بالهوامش إلى **معجم الجيولوجيا** الصادر من **مجمع اللغة العربية** وكتاب **ما هى الجيولوجيا؟** تأليف ويليام هـ.ماثيوز وترجمة الدكتور مختار رسمى ناشد الصادر بالمسلسل ١٨٢ من مشروع الألف كتاب الثانى فى الهيئة العامة للكتاب.

وفى ثبت المفردات والمصطلحات الوارد فى آخر الكتاب أضفت إلى المعانى والتعاريف المذكورة فى النص الأصلى تحت عنوان **Glossary** معانى وتعاريف أخرى مدققة وموثقة، حتى أجلو الغموض عن بعضها وأوسع دائرة المفاهيم والمعرفة عن بقيتها أمام القارئ العربى.

وفى هذا المجال لا يسعنى إلا أن أتوجه بالشكر إلى الأستاذ الدكتور جابر عصفور الأمين العام للمجلس الأعلى للثقافة على موافقته على تكليفى بترجمة هذا الكتاب، وإلى الأستاذ طلعت الشايب على توجيهاته البناءة فى إعداده، وإلى الأستاذ صفوان الحريرى على متابعته الدءوبة لإخراجه وإلى الدكتور محمد هانى قزامل على مراجعته لبعض الفقرات العلمية، وإلى دار الكتاب المصرى ودار الكتاب اللبنانى على إهدائى مجموعة الكتب القيمة التى خدمت ترجمة هذا الكتاب، وإلى كل من ساهم بالكتابة والمراجعة والطباعة فى هذا الكتاب القيِّم.

ولا يفوتنى أن أتوجه بالشكر إلى ناشر النص الإنجليزى شركة **Mc Graw-Hill Higher Education** على موافقتها على ترجمته وإهدائها نسخة من الطبعة الجديدة فور صدورها وهى التى تَمْثُل ترجمتها الآن بين يدى القارئ الكريم.

أسأل الله تعالى التوفيق.

توفيق على منصور

المقدمة

لماذا وُضع هذا الكتاب؟

فى باكورة السبعينيات من القرن العشرين قدَّمتُ أنا وبيل جانوس دورة عن جيولوجيا البيئة فى جامعة ولاية سان دييجو. وكان من الطبيعى أن تهيئ المعرفة المتنامية بالبيئة والنصوص الجيدة فى الكتب والمراجع عرضا تعليميا عاما يبحث فى المخاطر الجيولوجية واستغلال الموارد والتخلص من نفاياتها والتخطيط الذكى الذى يتناغم مع البيئة. وسجَّل الانتساب للدورة نجاحا متوسطا ودويا بين طلاب الدورات المنعقدة على مدى عشر سنوات؛ ويتراوح عدد الحاضرين فى الدورة الواحدة من ٢٥ حتى ٣٥ طالبا.

وفى عام ١٩٨٧ تناقشتُ مع توم روكويل فى موضوع الدورة الخاصة بجيولوجية البيئة وتأملنا لماذا لم تحظ هذه الدورة باجتذاب عدد أكبر من المنتسبين. واتفقنا على أن أقسامَ الدورة المتعلقة بالكوارث الطبيعية أكثرها تشويقا.

ولهذا قمتُ رسميا بتغيير اسم الدورة ليكون «الكوارث الطبيعية» دون أن أغير فى موضوعات الدورة أو كتب النصوص المقررة، ولم أعلن عن التغيير بأية وسيلة. وعلى الفور، ما إن قرأ الطلاب عبارة «الكوارث الطبيعية» فى كراسة عرض منهاج الدورة حتى طاولت تسجيلات انتسابهم السحاب. والآن فى الألفية الثالثة نقدم أقساما عديدة لما يزيد عن ٣٥٠٠ مقعدٍ للطلاب فى السنة الدراسية ولا يزال هذا العدد قاصرا عن تلبية جميع الطلبات.

ولا يلتزم طلاب جامعة ولاية سان دييجو بدراسة الكوارث الطبيعية؛ إذ يمكنهم اختيار ما يطلبون من أكثر من ٣٠ دورة ضمن عشرة أقسام تعرض دورات مثل

بيولوجيا الجنس والتطور وأصل الحياة والمحيطات والديناصورات ومواجهة مرض نقص المناعة الإيدز. ولكن كثيرا من الطلاب يفضلون دورة الكوارث الطبيعية عن غيرها من الدورات. فإذا كان قسمك يحقق نجاحا من زيادة إقبال الطلاب عليه، فإننى أوصى مشددا بتقديم دورة عن الكوارث الطبيعية. فالزلازل والأعاصير الرعدية الممطرة (هوريكين) والأعاصير القمعية (تورنيدو) والقوى الأخرى ذات الطاقة العالية فى أرضنا النشطة تؤثر على حياة الأطفال. وهؤلاء الطلاب يريدون أن يفهموا لماذا تحدث هذه الكوارث الطبيعية. ويستطيع المعلمون أن يوجهوا اهتمام الطلاب الزائد إلى المعرفة الرفيعة المستوى بالعلم.

نبذة عن الكتاب

يركز هذا الكتاب الأضواء على الكوارث الطبيعية: كيف تركز قوى الأرض طاقاتها وتوجه ضربات قاصمة للبشر ومؤسساتهم. وكثيرا ما تتجاهل الحالات التاريخية العديدة التى تصف أعمال الإنسان وردود فعل البيئة المترتبة عليها؛ وهذه الموضوعات مناطة بها كتب النصوص الرائعة عن جيولوجيا البيئة. ولا يتناول هذا الكتاب استخراج الموارد واستغلالها والتخلص من نفاياتها؛ فهذه الموضوعات تغطيها كتب النصوص القيمة عن موارد الأرض ومعادنها وطاقتها وتربتها ومياهها. ولكن هذا الكتاب يهتم بكيفية عمل عالم الطبيعة؛ وما ينتج عن ذلك من قتل للناس وإعاقتهم وتدمير منشآتهم.

ونحرص فى هذا الكتاب على تداول موضوعات خاصة هى:

- مصادر الطاقة التى تسبب الكوارث.
- الألواح التكتونية وتغير المناخ.
- القوى الأرضية الفاعلة فى الصخر والماء والغلاف الجوى.
- أهمية الزمن الجيولوجى.

- تعقيدات المتغيرات المتعددة التى تعمل متزامنة.

- حالات تاريخية تفصيلية ومقروءة.

ويهدف النص إلى شرح بعض المبادئ المهمة حول الأرض، ثم يبنى عليها مفاهيم أخرى من خلال الحالات التاريخية المتعددة. آمل أن يستمتع الطلاب بالقراءة الواقعية فى معظم أجزاء هذا الكتاب.

والنظام الأساسى لهذا الكتاب يستند إلى موضوع الطاقة. فالفصل الأول يمحص مصادر الطاقة الكامنة وراء الكوارث:

(١) الطاقة الداخلية للأرض الناجمة عن الارتطامات التشكيلية والخمود فى النشاط الإشعاعى المستمر.

(٢) الجاذبية.

(٣) الطاقة الخارجية الصادرة من الشمس.

(٤) ارتطام الكويكبات والمذنبات.

وفى الفصول من الثانى حتى السابع تناولنا الكوارث الناتجة عن الطاقة الداخلية، منظمة فى موضوع الألواح التكتونية. فيزودنا الفصل الثانى بالوصف الأساسى للألواح التكتونية وعلاقتها بالزلازل. ويغطى الفصل الثالث المبادئ الأساسية لجيولوجيا الزلازل وعلم الزلازل دون افتراض لمعرفة سابقة. وربما يود بعض الطلاب الأذكياء أن يكتفوا بتصفح هذا الفصل. ويستغل الفصل الرابع الألواح التكتونية والسجلات التاريخية وقبل التاريخية لشرح الزلازل على طول النطاق الغربى لأمريكا الشمالية. ويفحص الفصل الخامس تاريخ ومستقبل الزلازل فى بقية بقاع أمريكا الشمالية. والهدف هو تغطية كل منطقة جغرافية وتاريخ الزلازل الكبرى فيها؛ وربما يرغب المعلمون فى شرح جزء فقط من هذا الفصل. ويناقش الفصل السادس البراكين، بينما ينسب الفصل السابع ظاهرة البراكين إلى الألواح التكتونية. وفى كل فصل نستعرض حالات تاريخية لإضفاء الحيوية على النص.

والكوارث التى تحدثها الجاذبية مبدئيا يغطيها الفصل الثامن المختص بحركات الكتل الصخرية والجليدية. وقد نوقشت عدة نماذج مدعمة بالصور من سقوط وتدفق إلى انزلاق وخسف (هبوط).

أما الكوارث التى تحدثها الطاقة الخارجية للشمس فتناولتها الفصول من التاسع حتى الثالث عشر. فالفصل التاسع يلقى الضوء على تغير المناخ؛ ويعتبر قاعدة للفصول التالية. فمبادئ المناخ التى تتحكم فى نقل الطاقة عبر مقاييس الزمن بالملايين والآلاف والمئات والعديد من السنين تمت مناقشتها. وتَتَقلص بؤرة الزمن خلال هذا الفصل لتنتقل إلى الفصل العاشر الذى يناقش ظواهر الطقس القاسى مثل العواصف الرعدية والبرق والأعاصير القمعية (تورنيدو). ويتفحص الفصل الحادى عشر الأعاصير الرعدية البرقية الممطرة (هوريكين) وخط الساحل. ويستمر التركيز على الماء فى الفصل الثانى عشر فى الفيضانات ودور النشاطات البشرية فى زيادة الخسائر الناجمة عنها. ويناقش الفصل الثالث عشر موضوع الحريق وكيفية انطلاق ضوء الشمس الذى تتعرض له النباتات لمدد طويلة بالتمثيل الضوئى وتختزنه فى أنسجتها العضوية.

وقبل أن ننتقل إلى المصدر الرابع للطاقة (الارتطام) يبحث الفصل الرابع عشر الوفيات العظمى المحفوظة فى سجل الحفائر. والهدف من ذلك هو توثيق أضخم الكوارث الطبيعية على الإطلاق واستخدام المتغيرات المتعددة فى تحليل أسبابها. وتفحص الانقراضات النوعية الشاملة باستخدام عناصر مسببة لها مثل اتحاد وانفصال القارات وتغير المناخ وفيضانات البازلت البركانية وارتفاع وانخفاض مستوى سطح البحر والارتطام والقوى البيولوجية ودور البشر فى الوفيات الشاملة الأخيرة. ويناقش الفصل الخامس عشر آليات الارتطام بتفصيل دقيق شاملا الخطط الموضوعية لحماية الأرض من ارتطام الأجرام السماوية بها فى المستقبل.

ويدرس الفصل السادس عشر نمو التعداد السكانى، والتضاعف اللوغاريتمى غير المسبوق فى زيادة التعداد البشرى.

ويحتوى هذا الكتاب على مادة غزيرة، وربما كانت من الوفرة بحيث لا يمكن تغطيتها فى فصل دراسى واحد. ولكن المجال الفسيح لموضوعات الكوارث الطبيعية

يهيئ لكل معلِّم الفرصة لاختيار الفصول التى تناسبه لتغطية ما يهمه وما يختص بالمخاطر المحلية.

شكر وعرفان

أقدر كل التقدير المساعدات التى قدمها الآخرون لجعل هذا الكتاب حقيقة ملموسة. فجميع الأشكال تقريبا خطها ورسمها رينى ويدجميكرز من جامعة ولاية سان دييجو. فموهبة رينى واستعداده الطيب للمساعدة لا يمكن تقييمهما. ومجموعة الصور التى احتواها الكتاب تم اختيارها من بين مجموعة الصور الجوية المقدمة بنفس راضية من جون س. شيلتون أعظم المصورين الجيولوجيين على الإطلاق. ومعظم الصور المقدمة من جون أضيفت إلى هذه الطبعة الثالثة. ومجموعة الصور المقدمة من جون شيلتون تعتبر الثانية فى العدد بعد المجموعة التى اشتمل عليها كتابه القيم **الجيولوجيا المصورة**.

وإننى لمدين بالشكر لغيره من الجيولوجيين الذين قدموا صورا ومنهم: آلان مايو من شركة النشر للصور الجيولوجية عن صور بالوعة وينتر بارك وفيضان تكسون، وجيرالد ج. كوهن من سان دييجو عن صور من مجموعة صور مكوك الفضاء، ومايكل وهارت من سان دييجو عن صور تحرك الكتل الصخرية والجليدية، وآل بوست من كالترانز عن صور زلزال سان فيرناندو، وبيتر ديجاند من جامعة نورثريدج بولاية كاليفورنيا، وجريج ديفيس من جامعة جنوبى كاليفورنيا، وكارى سيه من كالتيتش عن صور زالزال نورثريدج، وتيم داوسون عن زلازل تركيا، وجوزى آجير عن حريق بيركلى، ومكتبة صور المساحة الجيولوجية بالولايات المتحدة.

وحظيت الطبعة الأولى فى كثير من فصولها بالمراجعة القيمة من زملائى فى جامعة ولاية سان دييجو وهم: مايكل ج. والاويندر للظاهرة البركانية وج.ديفيد آرشيبالد وريتشارد هـ.ميللر للوفيات العظمى وديفيد ل.كيمبرو للارتطام.

وارتفعت جودة الكتاب كثيرا بالفكر الثاقب والنقد البناء للمراجعين الآتين بعد: كيفين بى. فيرلونج من جامعة ولاية بنسلفانيا، وإيرنست ل.كيرن من جامعة جنوب شرقى ولاية ميسورى، وجون هيدرو من جامعة شمالى كولورادو - جرينزبورو، وبول ك.جروجر من جامعة كلورادو - كلورادو، ودونالد جى ستيرمان من جامعة توليدو، وجورج هوبر من جامعة ويسكونسين - لاكروس.

وتطورت الطبعة الثانية كثيرا باتباع وجهات نظر القراء لهذا الكتاب ومنهم بيتر سادلر من جامعة كاليفورنيا، والدكتور بايلور. وتطورت التغطية للبراكين كثيرا بعد نصيحة فيكتور إى. كامب من جامعة ولاية سان دييجو.

أما عن الطبعة الثالثة فقد تم فيها تحديث وتغيير جميع الفصول. ويشمل ذلك مراجعات مكثفة وتغطية مزيدة ومهمة فى الفصل التاسع عن تغير المناخ، وفى الفصل العاشر عن الطقس القاسى شاملا الأعاصير القمعية (تورنيدو) وفى الفصل الحادى عشر عن الأعاصير الرعدية البرقية الممطرة (هوريكين) وفى الفصل الثانى عشر عن الفيضانات.

وهذه الفصول الأربعة بالذات حظيت بنصوص جديدة متعددة، وبكثير من الصور الجديدة وبالعديد من المخططات الفنية الجديدة. واستفادت الطبعة الثالثة كثيرا من المراجعات التفصيلية للآتين بعد:

- وانج بينج تشين من جامعة إيلينوى فى إيرنانا كامبين.
- باتريك كولجان من جامعة الشمال الشرقى.
- مايكل كونويى من جامعة أريزونا الغربية.
- مايكل فوريست من كلية ريوهوند جونير.
- ديفيد جونزاليس من كلية فورت لويس.
- ألان ليستر من جامعة كولورادو.
- جون نورس من الجامعة التقنية بولاية كاليفورنيا.

- بينج مينج شين تو من جامعة إنديانا.

- فيليب ساكلينج من جامعة شمالى آيوا.

وأتقدم بالشكر لكل من تقدم بالمساعدة من جامعة ولاية سان دييجو وأخص منهم: جاكوب ووشبيرن على رسومه الخطية الأصيلة وتوم كاراسكو على مساعدته القيمة فى صور الحاسب الإلكترونى والرسوم الحية وميرى جريس على وضع الكثير من الجداول.

كما أقدم جزيل الشكر لذوى المواهب الفذة والإنجازات البارعة من العاملين فى مجال الطباعة والنشر فى مؤسسة ماك جروهيل فى دوبوك الذين تداولوا المخطوطات وأخرجوا منها هذا الكتاب. أما عن أوجه القصور التى ظهرت فى الكتاب فأنا وحدى المسئول عنها. وأتقبل النقد بصدر رحب سواء ما كان مؤيدا أو مخالفا لما ورد فى الكتاب وكذلك المراجعات المقترحة.

بات أبُّوت

pabbott @ geology. sdsu. edu

الفصل الأول

مصادر الطاقة المسببة للكوارث

لا تنفصل هنا الآثار عن الأسباب

ولا تنفصل هنا الغايات عن الطرق

ولا تنفصل هنا الثمرات عن البذرة

فكل الأسباب مهيأة فيها الآثار

وكل الطرق مهيأة فيها الغايات

وكل ثمار تتهيأ فيها البذرة

رالف والدو إميرسون، ١٨٤١

المقابل

تحدث الكوارث حيثما وحينما تركز القوى الطبيعية فى الأرض طاقتها ثم تطلقها فتهلك الحياة وتسبب الدَّمار. ويبلغ اهتمامنا ذروته خاصة حينما تسدد هذه الطاقة ضربات قاصمة للبشر. ففى عام ١٩٩٩ فَقَدَ ١٠٥٠٠٠ إنسان حياتهم فى الكوارث الطبيعية (الجدول ١-١). حدثت الوفيات فى المقام الأول بسبب الطقس القاسى والفيضانات؛ وفى المقام الثانى بسبب الزلازل. وشملت أحداث القتل فى عام ١٩٩٩ العالم بأسره.

ونظرا لتسارع التعداد السكانى فى العالم، يجد كثير من الناس أنفسهم يعيشون بالقرب من أكثر مناطق الأرض خطورة. وتعرض لنا وسائل الإعلام الحديثة كثيرا من الصور الحية والروايات عن الخسائر الكبرى فى حياة الإنسان وتدمير ممتلكاته بسبب الكوارث الطبيعية. ويقول بوث تاركينجتون: «إن تاريخ الكوارث هو تاريخ مقابلة الأضداد».

ولكى ندرك المخاطر الطبيعية التى تقتل الإنسان الغافل وتعجزه، فلابد أن نعرف مصادر الطاقة التى تغذى قوى الأرض. فهناك أربعة مصادر أولية تجعل الأرض كوكبا نشيطا: (١) الحرارة الداخلية للأرض، (٢) الشمس، (٣) الجاذبية، (٤) ارتطام أجسام من خارج نطاق الأرض وغلافها الجوى.

فالطاقة المخزونة فى باطن الأرض تندفع باستمرار إلى السطح. وعلى مدى فترات زمنية قصيرة تنطلق الطاقة الداخلية على شكل ثورات بركانية وزلازل؛ وعلى مدى فترات أطول فى الزمن الجيولوجى عملت على تكوين القارات والمحيطات والغلاف الجوى. وبمقياس الكوكب الأرضى أدى تدفق الطاقة الداخلية إلى الخارج إلى انجراف القارات وتصادمها. وبهذا تكونت سلاسل الجبال والهضاب المرتفعة. وهذه القوى المنبثقة من الداخل والتى شكلت القارات تقابلها الطاقة الخارجية للشمس وتدعمها الجاذبية.

وحوالى ربع طاقة الشمس التى تصل إلى الأرض تبخر الماء وترفعه إلى الغلاف الجوى. وفى الوقت ذاته تساعد قوى الجذب المستمرة للجاذبية على إسقاط الضباب المتكثف فى الغلاف الجوى على شكل ثلوج أو أمطار. وتدعم الجاذبية عناصر التحات(*)- المثلجات(**) والأنهار والمياه الجوفية والرياح وأمواج المحيطات وتياراتها- التى تبرى القارات وتكدس فتاتها وفضلاتها الذائبة فى البحار. وعلى هذا، فإن

(*) التحات erosion: العمل الجيولوجى الذى تحدثه المواد فى سطح الأرض حين نقلها بعوامل التعرية، ويعتبر أول مرحلة من مراحل عملية نقل الرواسب المفككة . (**معجم الجيولوجيا**- المترجم)

(**) المثلجة glacier: تجمع جليدى عظيم غير ثابت قد يتحرك فى مجار تشبه الأنهار. (**معجم الجيولوجيا**- المترجم)

الإشعاع الشمسى أهم مصادر الطاقة الخارجية لأنه يبخر الماء ويرفعه، بينما الجاذبية هى القوة المباشرة التى تدفع عناصر التحات.

وهناك مصدر آخر من مصادر الطاقة يصل إلى الأرض زائرا من الفضاء الخارجى مثل الكويكبات(*) والمذنبات(**). ورغم أن ارتطام الأجسام الكبيرة لا يتكرر كثيرا، فإن مضارها قد تلحق بالكرة الأرضية بأسرها.

وينشأ صراع طويل الأمد بين قوى البناء المدعومة من الداخل التى تبنى وترفع كتل اليابسة وبين قوى الهدم المدعومة من الخارج التى تحات القارات وتكدس حتاتها(***) فى قيعان المحيطات. فإذا توقف بناء الجبال وارتفاعها، تضافرت قوى عناصر التحات مجتمعة فى خفض مستوى القارات إلى مستوى سطح البحر فى ظرف ٤٥ مليون سنة. وللوهلة الأولى يبدو هذا الزمن طويلا جدا ولكن عمر الأرض يقدر بحوالى ٤,٥٧ بليون سنة. وهذا العمر الطويل للأرض يشير إلى أن التحات يبلغ من القوة حدا يمكنه من تسوية القارات مائة مرة تقريبا. وهذا يوضح لنا أن القوى الداخلية البناءة قادرة على الحفاظ على ارتفاع القارات القديمة وإضافة مساحات جديدة من اليابسة. والويل للبشر ولمظاهر الحياة الأخرى التى تقترب كثيرا من هذه القوى البانية وتلك القوى الهادمة؛ فهى التى تحدث فيها الكوارث.

أصل الشمس والكواكب

لكى نفهم أصل وطبيعة الطاقة الداخلية للأرض يتعين علينا أن نعرف التاريخ المبكر لكوكبنا هذا. فالأرض كوكب نشيط؛ فهى تعيد دورة صخورها وبهذا تطمس

(*) الكويكب asteroid: أحد الكواكب الصغيرة جدا بين المريخ والمشترى ويعرف أيضا باسم Planetoid. **(ما هى الجيولوجيا؟** - المترجم)

(**) المذنب Comet: جرم سماوى يدور فى مدار شديد البيضوية وله نواة محددة يحيط بها الضوء، وعادة يلمع ذيله وهو يدور حول الشمس. **(معجم تشيمبرز**- المترجم)

(***) تحات الشىء: تناثر- تآكل - سقط. والحتات ما تناثر منه. **(المعجم الوسيط**- المترجم)

كثيرا من سجلات تاريخها القديم. فكلما كانت الصخور قديمة زاد الزمن وكثرت الفرص المتاحة لتدميرها. إلا أن الصخور القديمة الباقية ومعلوماتنا المتنامية عن القوى التى تتفاعل فى باطن الأرض وعن المنظومة الشمسية تسمح لنا ببناء فكرة تقريبية متزايدة ومعقدة للتاريخ القديم للأرض.

وأوسع الأفكار انتشارا وقبولا عن أصل المنظومة الشمسية وضعها الفيلسوف الألمانى إيمانويل كانت فى عام ١٧٥٥؛ إذ ظن أن الشمس والكواكب تضخمت عن طريق ارتطام المادة التى تدور فى سحابة دوارة من الغاز والرماد.

بدأت المرحلة الأولى للنمو منذ حوالى ٤,٦ بليون سنة ضمن سحابة دائرية دوارة من الغاز والجليد والرماد وبقايا صلبة أخرى (الشكل ١- ١ أ، ب). وبفعل الجاذبية على المادة فى السحابة تجاذبت الجزيئات إلى بعضها البعض حتى التصقت. والتصقت الجزيئات الصغيرة وكبر حجمها حتى صارت أكثر قدرة على جذب الجزيئات القريبة؛ وبالتالى حدثت ارتطامات أكثر. وكلما سحبت المادة إلى الداخل ونقص حجم السحابة زادت سرعة الدوران وبدأت الكتلة تتسطح على شكل قرص (الشكل ١-١جـ). وأكبر تجمع للمادة حدث فى مركز القرص، بانيا الشمس التى نراها اليوم (الشكل ١-١د، هـ). والعنصران الرئيسيان المكونان للشمس هما الإيدروجين (يد) والهيليوم (هـ) الخفيفى الوزن. وكلما نمت الكتلة المركزية زادت درجة حرارتها الداخلية حتى بلغت حوالى ١٠٠٠٠٠ درجة مئوية (سْ) أى ١٨٠٠٠٠ درجة مئوية فهرنهايتية (فْ) وبدأت عملية الانصهار النووى. وفى الانصهار النووى، تلتحم (تندمج) ذرات الإيدروجين الصغيرة لتكون الهيليوم ويتحول بعض المادة إلى طاقة. ونشعر نحن سكان هذه الأرض بتلك الطاقة على شكل أشعة للشمس.

أما الحلقات المتبقية من المادة فى النظام الشمسى الدوار فتشكل أجساما كبيرة من استمرار تصادم الجزيئات والتحامها ببعضها لتكون الكواكب (الشكل ١-١و). ويؤدى الارتطام القوى فى المراحل المتأخرة بين الأجسام الكبيرة إلى إذابة كميات كبيرة من الصخر فى عناصر سريعة التبخر حتى تنتشر فى الفضاء. وتكونت الكواكب الداخلية (عطارد والزهرة والأرض والمريخ) بالقرب من الشمس بحيث أدت أشعة

الشمس إلى طرد معظم الغازات السريعة التبخر وإلى تبخر السوائل بسهولة، مخلفة وراءها الكواكب الصخرية. أما الكواكب الأربعة التالية الخارجية (المشترى وزحل وأورانوس ونبتيون) فهى أجسام جليدية عملاقة تتكون من الإيدروجين والهيليوم ومواد أخرى متجمدة منذ النشأة الأولى للمجموعة الشمسية.

المصادر الداخلية للطاقة

يبدو أن الأرض بدأت بتجمع كتلة من الجزيئات والغازات من السحابة الدوارة منذ حوالى ٤,٥٧ بليون سنة مضت. وعلى مدى ٥٠-١٠٠ مليون سنة تجمعت قطع وأجزاء من جزيئات غنية بالمعادن (تشبه الشهب(*) الغنية بالحديد) وصخور (تشبه الشهب الصخرية) والجليد (المكون من الماء وثانى أكسيد الكربون ومركبات أخرى) لتشكل الأرض. وكلما تضخمت الكرة المكونة من جزيئات ملتحمة جذبت قوة الجاذبية قطعا معدنية أكثر نحو المركز بينما تركزت المواد الأخف وزنا بالقرب من السطح. إلا أن الأرض فى باكورة نشأتها ربما نمت من تصادم عشوائى للفتات لتكون خليطا متجانسا من المواد إلى حد ما.

ولكن الأرض لم تظل متجانسة. فالقوى المكونة للكوكب (الشكل ١-٢) ولَّدت كميات هائلة من الحرارة غيرت الكوكب الشاب تغييرا جذريا من الكرة المتجانسة نسبيا إلى كتلة متطابقة بالكثافة؛ فالمواد الأثقل تستقر فى المركز بينما تتصاعد المواد الأخف إلى الخارج حتى الغلاف الجوى. وتولدت الحرارة التى شكلت الأرض مبدئيا من: (١) طاقة الارتطام، (٢) طاقة الجاذبية، (٣) الخمود التلقائى للعناصر ذات النشاط الإشعاعى.

(*) الشهاب meteor. واحد من عدد لا يحصى من الأجسام الصغيرة تدور فى الفضاء وتبدو للناظر كرة ملتهبة أو مقذوفا نجميا عندما يدخل الغلاف الجوى للأرض. (**تشيمبرز**- المترجم)

النيزك meteoite: شهاب سقط على الأرض كتلة من الصخر أو المعدن. (**تشيمبرز**- المترجم)

الرجم meteoroid: شهاب لم يصل بعد إلى الغلاف الجوى للأرض. (**تشيمبرز**- المترجم)

طاقة الارتطام

تولدت الحرارة من الطاقة الناجمة عن ارتطام الجزيئات بالأرض فى مرحلة نموها. فهناك أعداد هائلة من الكويكبات الصغيرة والكبيرة والنيازك والمذنبات ضربت الأرض فى باكورة أيامها فتحولت طاقتها الحركية إلى حرارة عند الارتطام. وتستطيع الصدمات الكبيرة أن تولِّد من الحرارة ما يكفى لتبخير الصخر وإذابته. فمثلا، تتضمن النظرية السائدة عن أصل قمر الأرض ارتطاما مبكرا للأرض فى صباها بجرم فى مثل حجم المريخ. وتولَّدت عن الارتطام سحابة هائلة من الأبخرة، تكثف جزء منها ليكوِّن القمر. وهذه النظرية توحى بأن القمر فى أغلب الظن تكوَّن من الوشاح(*) الصخرى للأرض. وتفسر النظرية أسباب قلة الحديد فى القمر (فمعظم الحديد يقع فى اللب(**) المركزى للأرض)، وخلوه تقريبا من المواد الخفيفة (مثل الغازات والماء)، التى ربما تكون قد تسربت إلى الفضاء.

طاقة الجاذبية

انطلقت طاقة الجاذبية من الأرض عندما اجتذبت كتلة ذات كثافة متزايدة فى فترتها الأولى منذ ٥٠ - ١٠٠ مليون سنة. وباستمرار الدفن العميق للمادة داخل الكتلة المتنامية للأرض تزايدت قوة الجاذبية وتزايد اندماجها فى الداخل. وطاقة الجاذبية هذه تحولت إلى حرارة لم تتسرب بسبب البطء الشديد لقدرة الصخور على توصيل الحرارة. وعندما ترتفع درجة الحرارة الداخلية إلى أعلى من ١٠٠٠ درجة مئوية أو ١٨٠٠ درجة فهرنهايتية تتجاوز نقطة ذوبان الحديد فى مختلف الأعماق تحت سطح الأرض. ويشكل الحديد ثلث كتلة الأرض؛ ورغم أنه أعلى كثافة من الصخر العادى، فإنه يسيل عند درجات حرارة أقل كثيرا. فتركيز الحرارة يؤدى إلى إذابة كتل هائلة من

(*) الوشاح mantle: الجزء السميك الثقيل الذى يلى قشرة الأرض ويمتد إلى عمق حوالى ٢٠٠ كيلومتر تحت سطح الأرض. (**ما هى الجيولوجيا؟**- المترجم)

(**) لب، نواة core: النطاق الكثيف القريب من مركز الأرض. (**ما هى الجيولوجيا؟**- المترجم)

النيازك الغنية بالحديد. وينجذب الحديد السائل ذو الكثافة العالية بقوة الجاذبية نحو مركز الأرض. وعندما تتحرك هذه الكميات الهائلة من الحديد السائل للداخل لتشكل لب الأرض، تطلق مقدارا هائلا من طاقة الجاذبية التى تتحول إلى حرارة وربما ترفع درجة الحرارة الداخلية للأرض بمقدار ٢٠٠٠ درجة مئوية أخرى. ويتولد عن انطلاق هذا القدر الهائل من الحرارة انتشار الذوبان الذى يؤدى إلى ارتفاع المواد القليلة الكثافة لتكون: (١) القشرة الأولية على سطح الأرض من المواد القليلة الكثافة، (٢) المحيطات الكبرى، (٣) غلاف جوى ثقيل. ويعتبر تكوين اللب الغنى بالحديد حدثا فريدا فى تاريخ الأرض.

الطاقة المنبعثة من العناصر المشعة

تنطلق الطاقة من العناصر المشعة عندما تخمد. فالذرات المشعة غير مستقرة وتعمل على طرد الجزيئات شبه الذرية لكى تحظى بالاستقرار. وعندما تخمد الذرات المشعة تنبعث منها الحرارة.

وفى بداية تكوين الأرض كانت تشتمل على كثير من العناصر ذات النشاط الإشعاعى القصير المدى مثل الألومنيوم- ٢٦ الذى يعتبر مستنفذا لفاعليته الآن، وكذلك على عناصر ذات نشاط إشعاعى طويل المدى استنفذ كثير منه الآن معظم طاقته (الجدول ١-٢). وكانت الأرض فى صباها تشتمل على مجموعة كبيرة من العناصر المشعة وقدر أوفر من الحرارة المتولدة عنها عما هى عليه الآن (الشكل ١-٣). وبتناقص الناتج من الحرارة المتولدة عن العناصر المشعة فى باطن الأرض فإن الطاقة المتدفقة من باطن الأرض يميل منحناها إلى الهبوط ببطء متجها نحو الصفر.

وتقاس عملية خمود النشاط الإشعاعى بعمر النصف وهو طول الفترة الزمنية اللازمة لنصف عدد الذرات من العنصر المشع المتبقى حاليًا (الأم) لكى يتحلل ويصبح منتجا خامدا (الابنة). ويوضح المنحنى فى الشكل (١-٤) أن نصف الذرات المشعة خمدت أثناء نصف العمر الأول. ففى نصف العمر الثانى يخمد نصف عدد الذرات المشعة المتبقية (بما يعادل ٢٥٪

من الذرات الأصلية الأم. ويشهد العمر الثالث التصنيف الثالث للذرات المشعة الحالية ١٢,٥٪ من عدد الذرات الأصلية الأم)، وهكذا. وبتوقيع أنصاف الأعمار على مقياس الزمن نحصل على منحنى تضاعف لوغاريتمى سلبى (الشكل ١-٤)؛ وهو منحنى تضاعف لوغاريتمى إيجابى معكوس، مثل العائد من المال المودع فى دفتر توفير.

ومجموع الطاقة الداخلية الناتجة من الارتطام والجاذبية والعناصر المشعة بالإضافة إلى الطاقة المتولدة من الاحتكاك المدِّى كبير جدا. وتضافرت الوفرة الوفيرة للعناصر المشعة منذ بدء تكوين الأرض مع الحشد المبكر للجاذبية وارتطامات النيازك المتكررة لترفع درجة الحرارة الداخلية للأرض أثناء تاريخها المبكر. والجدير بالذكر أن الحرارة المتجمعة فى داخل الأرض بلغت ذروتها مبكرا فى تاريخ الأرض ثم أخذت تتناقص بشكل ملحوظ منذ ذلك الوقت. إلا أن تدفق الحرارة الداخلية إلى سطح الأرض اليوم لا يزال كبيرا بالقدر الكافى لتزويد القارات بالطاقة اللازمة حتى تنجرف والبراكين حتى تثور والزلازل حتى تزلزل.

عمر الأرض

يقدر عمر الأرض بحوالى ٤,٥٧ بليون سنة تقريبًا أى ٤٥٧٠ مليون سنة وهو زمن يكفى لحدوث كثير من التغيرات. وتم قياس هذا العمر باستخدام العناصر المشعة ونواتجها الخامدة التى جمعت من صخور القمر والنيازك. وأقدم صخور الأرض يقدر عمرها بحوالى ٤,٠٥٥ بليون سنة فى شمال غربى كندا وبحوالى ٣,٩ بليون سنة فى جرينلاند. وهذه الصخور من مكونات القشرة الأرضية، وتدل على أنها أعيدت دوراتها وتكونت من صخور أقدم منها بكثير. (وأقدم عمر للمواد الموجودة على ظهر الأرض هو ٤,٢٨٨ بليون سنة مقاسا على حبيبات رمل الزركون(*) المأخوذة من حجر رملى غربى أستراليا ويبلغ عمره ٣,١ بليون سنة).

(*) زركون zircon: معدن يتركب كيميائيا من سيليكات الزركونيوم، ويتبلور فى فصيلة الرباعى، ويستعمل فى صناعة الحراريات وكحجر كريم باسم هياسينث hyacinth ويعتبر الخام الرئيسى لعنصر الزركونيوم. (**معجم الجيولوجيا**- المترجم)

كيف نستنتج أن عمر الأرض ٤,٥٧ بليون سنة إذا كان أقدم الصخور المعروفة يقل قليلا عن ٤ بليون سنة وأقدم المعادن المعروفة يبلغ عمرها ٤,٢ بليون سنة؛ فالأرض كوكب نشيط تتشكل صخوره السطحية وتدمَّر باستمرار. وبسبب عمليات الأرض النشيطة يندر الاحتفاظ بالمواد القديمة حقا؛ فهناك كثير من الأحداث على مدى سنين عديدة تدمر الصخور. وفى مقابل ذلك نرى أن أقدم صخور القمر الذى لم يعد نشيطا جيولوجيا، وأن النيازك التى تصل إلينا من ثلاجة الفضاء لها عمر ثابت هو حوالى ٤,٥٧ بليون سنة. وبافتراض أن العمر الأصلى لكل من الأرض والقمر والنيازك وبقية كواكب المجموعة الشمسية هو ٤,٥٧ بليون سنة التى قيست على صخور القمر والنيازك، لذلك فإن هذا العمر ينطبق على الجميع. وعلى هذا يمكننا أن نستنتج من الدليل المباشر أن عمر الأرض هو من ٤ إلى ٤,٢ بليون سنة ونضيف كذلك من ٠,٣٥ حتى ٠,٥٧ بليون سنة لكى يتعادل عمر الأرض مع عمر القمر والنيازك.

حاشية جانبية: العناصر المشعة

تنطلق الطاقة من العناصر المشعة فى عملية الانشطار النووى عندما تفرز الذرات المشعة الأم غير المستقرة جسيمات شبه نووية زائدة. فيقل وزنها وتصبح نواة ابنة أصغر (الشكل ١-٥). ونويات الذرات المشعة غير مستقرة وتحتوى على كثير جدا من الجسيمات شبه الذرية من البروتونات الموجبة الشحنة والنيوترونات المتعادلة الشحنة. وتتضاءل الذرة المشعة المفرطة فى الثقل حتى تصل إلى وزن مستقر بقذف: (١) جسيمات ألفا تتكون من بروتونين ونيوترونين (وبفاعلية خاصة نواة ذرة الهيليوم)، (٢) جزيئات بيتا وهى إلكترونات تنطلق عند انشطار النواة، (٣) أشعة جاما التى تشبه أشعة إكس، ولكن ذات موجات أقصر طولا. وعندما تقذف الجسيمات بسرعة وتتباطأ حتى تمتصها المادة المحيطة بها، تتحول طاقتها الحركية إلى حرارة.

تقدير أوقات أحداث تاريخ الأرض

ويمكن اعتبار نفس العناصر المشعة عند خمودها محدثة حرارة فى باطن الأرض ساعات نقرأ فيها تاريخا للأحداث طوال عمر الأرض. فمثلا، يخمد اليورانيوم – ٢٣٨ ويصير الرصاص – ٢٠٦ فى مراحل متعددة شاملا مختلف النظائر والعناصر الجديدة (الشكل ١-٦)، وبقذف جسيمات ألفا وبيتا تفقد نواة اليورانيوم– ٢٣٨ عدد ٣٢ جسيما شبه ذرى من عدد ٢٣٨، ويبقى ٢٠٦ جسيمات من نواة الرصاص– ٢٠٦. وقدرت القياسات المعملية معدل عملية خمود اليورانيوم ٢٣٨ وتحوله إلى الرصاص ٢٠٦ بنصف العمر ٤,٥ بليون سنة. وهذه الحقائق يمكن تطبيقها لتقدير تاريخ الأرض بقراءة مقاييس الطاقة الإشعاعية المحفوظة فى بعض المعادن. فمثلا، يمكن طحن بعض الصخور النارية(*) (التى تبلورت من الصهارة(**)) وفصل معدن الزركون الشديد الصلادة منه (وهو الذى يصنع منه الزركونيوم البديل عن الألماس فى الصياغة). فبلورات الزركون تحتوى على اليورانيوم ٢٣٨ الذى انطوى عليه بناؤهها الذرى عندما تبلورت من الصهارة، ولكنها لم تحتو أصلا على الرصاص ٢٠٦. وعلى ذلك فكل الرصاص ٢٠٦ الذى يوجد فى البلورات لابد أن يكون مصدره اليورانيوم ٢٣٨ بعد خموده.

وتطحن بلورات الزركون التى جمعت حتى تصير مسحوقا وتذاب فى حامض تحت ظروف غاية فى النظافة. وتوضع العينة فى مقياس كبير للطيف لقياس مقدار ذرات اليورانيوم ٢٣٨ الأم ومقدار ذرات الرصاص ٢٠٦ الابنة. وحينئذ نحصل على ثلاثة مقادير: (١) مقدار اليورانيوم ٢٣٨، (٢) مقدار الرصاص ٢٠٦، (٣) نصف العمر لعملية الخمود وهو ٤,٥ بليون سنة– ومنها يسهل تقدير العمر الذى استغرقه اليورانيوم ٢٣٨ ليخمد ويصير رصاصًا ٢٠٦ فى بلورة الزركون. وبعبارة أخرى تدلنا العملية الحسابية على العمر الذى استغرقته بلورة الزركون حتى تتشكل، وبالتالى نعرف زمن تشكيل الصخر النارى.

(*) صخر نارى igneous rock: صهارة متجمدة فى هيئة صخر متبلور. (**معجم الجيولوجيا** – المترجم)

(**) الصهارة (ماجما) magma. ذوب الصخر فى باطن الأرض. (**معجم الجيولوجيا** – المترجم)

حاشية جانبية: كوارث النشاط الإشعاعي

يذكرنا مصطلح «كوارث النشاط الإشعاعي» بانصهار اللب الغني باليورانيوم فى المفاعل النووى لتوليد القوى، مثلما حدث فى شيرنوبيل فى أوكرانيا بالاتحاد السوفييتى السابق فى يوم ٢٦ أبريل ١٩٨٦. حدثت هذه الكارثة التى صنعها الإنسان عندما ارتكب عمال المناوبة الليلية سلسلة من الأخطاء أطلقت موجة من القوة أحدثت انفجارات هائلة أطاحت بالغطاء الذى يغطى لب المفاعل النووى البالغ وزنه ألف طن ونسف جدرانه وأسقفه وأدى إلى الانصهار الجزئى للوقود المشع للب المفاعل وقذف بعدة أطنان من وقود ثانى أكسيد اليورانيوم ونواتج الانشطار مثل السيزيوم ١٣٧ واليود ١٣١ فى سحابة ريشية يبلغ ارتفاعها ٥ كم (٣ أميال). وانطلق أكثر من ١٨٥ مليون كورى(*) من الذرات المشعة الخطيرة . (انبعث ١٧ كورى فى أسوأ حادث وقع فى الولايات المتحدة من المفاعل النووى لتوليد الطاقة فى ثرى مايل آيلاند فى ولاية بنسلفانيا فى عام ١٩٧٩). وبعد الانفجار الذى وقع فى الساعة ١,٢٤ صباحا كان الناس القريبون من شيرنوبيل محظوظين نسبيا إذ كانوا فى منازلهم ويتوافر لهم قدر من الوقاية، ولم تهطل بالمنطقة أمطار وارتفعت السحابة الملوثة عاليا ولم تتعلق بالأرض. وأضرت السحابة الحاملة للملوثات المشعة بالناس والحيوانات والدواجن والزراعات من إسكنديناوة حتى اليونان. وقتل ٣١ عاملا فى مفاعل توليد القوى فى شيرنوبيل. ولكن معظم الوفيات حدثت فيما بعد من السرطان والأمراض الأخرى. وفى نهاية عام ١٩٩٩ بلغ عدد الوفيات ١٦٥٠٠٠ نسمة نسبتها شركات التأمين السويسرية لهذا الحادث النووى. ومن المتوقع أن يموت الكثيرون فى السنوات القادمة.

وربما حدث زلزال فأثار هذه الكوارث. وقد شاع فى أوروبا على نطاق واسع أن عمال مفاعل توليد القوى فى شيرنوبيل واجهتهم صعوبات فى الساعات المبكرة من صباح يوم ٢٦ أبريل حينما حدث زلزال قوته ٣ بمقياس ريختر على بعد ١٢كم (٧ أميال). وظن المشرف على العمال الذى أصابه الذعر أن الهزة أصابت المفاعل ففقد

(*) كورى curie: وحدة قياس النشاط الإشعاعى. (**المورد**- المترجم)

السيطرة وسارع بإجراء مناورات طارئة عطلت العمل الداخلي للمفاعل مما أدى إلى الانفجار المهلك بعد ٢٢ ثانية من الزلزال. فهل يمكن اعتبار انصهار شيرنوبيل كارثة زلزالية؟

ولكن حادث شيرنوبيل كان كارثة سببها الإنسان. فماذا كان يحدث فى الظروف الطبيعية؟ فاليوم، وعلى الأرض والقمر يعرض اليورانيوم ٢٣٨ فى معظم الأحيان على أنه أثقل النظائر المشعة إذ تحتوى كل نواة من ذرات اليورانيوم على بروتونات ونيوترونات يبلغ مجموعها ٢٣٨. ويشكل أخف نظائر اليورانيوم وهو اليورانيوم ٢٣٥ نسبة ٧٢٠٢,٠٪ من كل ذرات اليورانيوم. وفى محطات القوى النووية يقوى خام اليورانيوم الذى يغذى المفاعلات النووية بنسبة ٢ حتى ٤٪ من اليورانيوم ٢٣٥ لتقوية التفاعل. ولنتذكر أن الجدول (١-٢) يرينا أن نصف العمر لليورانيوم ٢٣٥ هو ٧١,٠ بليون سنة بينما نصف العمر لليورانيوم ٢٣٨ هو ٤,٥ بليون سنة.

ونظرا إلى أن اليورانيوم ٢٣٥ يخمد أسرع فمن الجائز أن يكون أكثر نسبيا فى الزمن الجيولوجى الماضى. والواقع أنه فى أحد الأزمنة الماضية كانت النسبة الطبيعية لليورانيوم ٢٣٥ إلى اليورانيوم ٢٣٨ ربما تماثل نسبة اليورانيوم ٢٣٥ المضافة إلى اليورانيوم ٢٣٨ وتقدم خاما للمفاعلات اليوم.

هل كانت المفاعلات النووية الطبيعية تعمل فى الزمن الجيولوجى الماضى؟ نعم. والمثال الموثق جيدا عُرِضَ فى منجم اليورانيوم فى أوكلو بالقرب من فرانسفيل فى جنوب شرقى جابون، إحدى الدول الساحلية فى غربى أفريقيا الاستوائية. ففى أوكلو منذ ٢,١ بليون سنة تراكمت الرمال والطين مع الكربون العضوى المتبقى من بقايا البكتيريا الحفرية. وهذه الرواسب الحاملة للكربون صارت غنية باليورانيوم؛ وصار اليورانيوم ٢٣٥ حينئذ يشكل ٣,١٦٪ من مجموع اليورانيوم. ودفنت الرمال والطين فى أعماق ضحلة وظل ٨٠٠ متر مكعب على الأقل من خام اليورانيوم يتعرض لتفاعلات الانشطار النووى التى ولَّدت حرارة إقليمية حوالى ٤٠٠°م بالإضافة إلى حرارة محلية أعلى بكثير. وفى أوكلو بدأت ١٧ موقعا تعمل كمفاعلات نووية طبيعية منذ حوالى ١,٨٥ بليون سنة، واستمرت تعمل حوالى ٥٠٠٠٠٠ سنة على الأقل (وربما بلغت ٢ مليون

سنة). وهناك تسعة من هذه المفاعلات الطبيعية التى دُرِسَت بعناية يقدر ناتجها ١٧٨٠٠ ميجاوات من الطاقة على الأقل فى السنة.

المصادر الخارجية للطاقة

تتدفق الطاقة المتولدة عن الانشطار النووى إلى سطح الأرض دائما عن طريق التوصيل(*) من باطن الأرض، وعن طريق الحمل الحرارى(**) فى الصهارة المندفعة من البراكين، وفى الماء من الينابيع الحارة. وتنجز هذه الطاقة الداخلية المتدفقة أعمالا جيولوجية فعالة، ولكن مجموع هذه الطاقة يعتبر ضئيلا بالمقارنة بالطاقة المنبعثة من الانصهار النووى الذى يحدث فى الشمس (الشكل ١-٧). وتظهر الطاقة كذلك على السطح عن طريق قوة الشد بالجاذبية بين الأرض والقمر والشمس التى تضيف طاقة المد إلى الأرض إلى جانب النيازك والكويكبات والمذنبات التى لا تزال ترتطم بكوكبنا.

الشمس

تصل إلى الأرض نسبة ضئيلة جدا من الطاقة التى تشعها الشمس، إلا أنها أكثر من ٥٣٠٠ ضعف للحرارة المنبعثة من باطن الأرض (الجدول ١-٣). ولا تشارك جميع الطاقة الشمسية التى تصل إلى سطح الأرض فى إنجاز الأعمال (التى تبعث النشاط فى الأرض وبين منظوماتها)، نظرا إلى أن حوالى ٣٠٪ منها ترتد مباشرة إلى الفضاء على شكل أشعة قصيرة الموجة (الشكل ١-٧). ويمتص الهواء والبحر واليابسة ٤٧٪ من الأشعة الشمسية القادمة على شكل حرارة. وللماء قدرة مذهلة على امتصاص

(*) التوصيل conduction: توصيل الضوء أو الحرارة أو الصوت أو الكهرباء بواسطة موصل. (**المورد**- المترجم)

(**) الحمل convection: ميكانيكية تحرك المادة بسبب اختلاف كثافتها عن كثافة المادة المحيطة بها. (**ما هى الجيولوجيا ؟** - المترجم)

الطاقة الشمسية والاحتفاظ بها. فالمحيطات على سطح الأرض تمثل كتلة مائية هائلة بحيث تؤثر حرارة الشمس الساقطة عليها في حالة الطقس حول العالم. ففي اليوم العادي تكفي كمية الطاقة الشمسية التي تمتصها المحيطات ثم تعيد بثها على شكل أشعة ذات موجات طويلة لرفع حرارة الغلاف الجوي بأسره حوالي درجتين مئويتين (٣ درجات فهرنهايتية). وعلى أية حال، ليست لدى الغلاف الجوي مثل هذه القدرة العالية على تخزين الحرارة؛ فإجمالي مخزونه من الحرارة يعادل ما يحتفظ به سطح المحيط بعمق ثلاثة أمتار (١٠ أقدام).

ويُسْتَنْفَذ أكثر من ٢٣٪ من أشعة الشمس في تبخير الماء الذي يرتفع بالحمل الحراري إلى الغلاف الجوي نظرا لقلة كثافته متمما بذلك أولى الأعمال الحيوية في الدورة المائية. ذكر **الكتاب المقدس: العهد القديم** في سفر الجامعة **Ecclesiastes**(*) في الأصحاح الأول الآية ٧ في القرن الثالث قبل الميلاد ما يلي: «تصب جميع الأنهار مياهها في البحر، ولكن البحر لم يمتلئ أبدا، ولا تزال الأنهار تسعى في مساراتها نحو أهدافها» (ترجمتي). فتبخر طاقة الأشعة الشمسية الماء مبدئيا من المحيطات ثم يسقط على اليابسة ويتدفق عائدا إلى البحر فوق سطح الأرض وتحته (الشكل ١-٨). ومعظم هذا الماء يدور في الدورة ذاتها زمنا بعد زمن ولمدة تزيد على ٤ بليون سنة. ويصف الشاعر بيرسي بيش شيلي هذه الدورة في عام ١٨٢٠ في قصيدته «السحابة»:

أنا ابنة الماء واليابسة

كذاك ربيبة تلك السماء

أمُرُّ خلال ثقوب المحيط

(*) Ecclesiastes: أحد الأسفار في العهد القديم الذي ينسب في التراث إلى سليمان (عليه السلام). (**تشيمبرز**- المترجم)

وفي الكتاب المقدس أي العهد القديم والعهد الجديد، سفر الجامعة الأصحاح الأول الآية ٧ ورد النص التالي: «كل الأنهار إلى البحر والبحر ليس بملآن. إلى المكان الذي جرت منه الأنهار إلى هناك تذهب راجعة». دار الكتاب المقدس في الشرق الأوسط ص٩٧٢.

وأمرق عبر جميع الشواطئ؛

أنا لا أموت ولكننى أتغير

ولا تزال الدورة المائية(*) موضوعا للدراسة. ويوضح الشكل (١-٩) حجم الماء فى المخزون المؤقت فى الجليد والبحيرات وتحت سطح الأرض وفى أماكن أخرى فضلا عن الماء الذى يحيط بنا. ويتعذر علينا تصور حجم الماء بآلاف الكيلومترات المكعبة (٤,١ كم٣ تعادل ميلا مكعبا واحدا)، ولكن الكميات الوفيرة نسبيا يسهل مقارنتها. فالدورة المائية تعمل فى حركة دائبة ونظام مستمر من التقطير والضخ. فحرارة الشمس تبخر الماء بينما تنتح النباتات (تبخر الخلايا الحية) الماء فى الغلاف الجوى. وتتكثف الرطوبة فى الغلاف الجوى وتسقط على شكل أمطار وثلوج. ويسقط بعضها فوق اليابسة ثم ينجذب عائدا إلى البحر بفعل الجاذبية على شكل مثالج وأنهار وتدفقات من المياه الجوفية، أى بصفتها عناصر للتعرية (التحات). ويبلغ عمر هذا النظام ٤ بليون سنة وسوف تستمر فى العمل طالما ظلت الشمس ساطعة والماء معرضا لها على سطح الأرض.

أين يُحْفَظ الماء على الأرض؟ تحتفظ المحيطات بالنصيب الأوفر: ٩٧,٣٪ من ماء الأرض الذى يغطى ٧١٪ من سطح الأرض. أما نسبة ٢,٧٪ المتبقية فمنها ٧٧٪ متجمد فى المثُلجات و٢٢٪ يتحرك ببطء تحت سطح الأرض و١٪ الباقية تقتسمها الأنهار والبحيرات والبحار المغلقة والرطوبة فى التربة. ويوضح الجدول (١-٤) النسب المئوية لمواقع تخزين الماء فى الأرض عندما تخفض نسبيا إلى محتوى برميل سعته ٥٥ جالون. فالماء الشديد الحيوية للنباتات والحيوانات التى تعيش على اليابسة تعتبر نسبته ضئيلة فى الحجم عند مقارنتها بحجم مياه المحيطات.

وتوضح صور الأقمار الصناعية للأرض وفرة ماء المحيطات والماء المتحرك فى السحب فى الغلاف الجوى (الشكل ١-١١). فالغلاف الجوى والمحيطات تتحرك حركة

(*) دورة هيدرولوجية Hydraulogic Cycle: عمليات تبخر ماء البحر ثم تكثفه على شكل المطر الذى يعود فى النهاية إلى البحر. (**ما هى الجيولوجيا؟**- المترجم)

دائبة حول الأرض، وترتبط أنظمة طاقتها ارتباطا وثيقا. فالرطوبة المتبخرة من المحيطات تحمل حرارتها الكامنة بالتبخر إلى أعلى فى الغلاف الجوى حيث تتسرب. وتهب الرياح بدورها فوق سطح المحيط ناقلة الطاقة إلى الماء فتثير الأمواج. وكل من الماء المتحرك فى الغلاف الجوى والمحيط يتأثر بدوران الأرض الذى يضيف إليه طاقات من الحركة. فدورة سطح المحيط تدفعها الرياح (الشكل ٩-١١)، بينما دورة عمق المحيط تَدفع معظمها الاختلافات فى الكثافة التى تسببها كتل الماء الباردة و/أو المالحة التى تغطس أو تتدفق إلى الأعماق فى دورة أرضية (الشكل ١-١٢). فحزام التوصيل فى المحيط فى (الشكل ١-١٢) ينقل مقادير هائلة من الحرارة حول الأرض.

ويمكن اعتبار الغلاف الجوى بمثابة آلة حرارية تستخدم حرارة الأشعة الشمسية لتوليد الطاقة الميكانيكية للرياح. ويمتص الغلاف الجوى الحرارة مباشرة من الشمس وبطريقة غير مباشرة من الأبخرة المتصاعدة من الماء التى ريثما تبرد وتتكثف فى الغلاف الجوى محررة الأشعة الشمسية المخزونة منها.

وتعتبر الكتل الهوائية الدافئة من المنطقة الاستوائية أقل كثافة فترتفع بالطفو وتتدفق نحو القطبين حيث تبرد وتسقط (الشكل ١-١٣). كما تتدفق كتل الهواء القطبية الباردة والكثيفة بعيدا عن القطبين متجهة نحو خط الاستواء. ويضيف دوران الأرض تحت القشرة السائلة القليلة الكثافة فى الغلاف الجوى كثيرا من التعقيدات إلى هذا النموذج المبسط. ويوزع دوران الغلاف الجوى الحرارة حول الأرض.

الجاذبية

أول مناقشة علمية لوجود الجاذبية أجراها إسحق نيوتن (١٦٤٢-١٧٢٧)، أحد العبقريات الحقيقية فى التاريخ. وكان من حسن الطالع أن يعزل نيوتن نفسه فى الريف وهو فى العشرينيات من العمر اتقاء للطاعون الليمفاوى الذى اجتاح سكان المدن. والنجاح فى أى جيل يتحقق للمرء باتقائه وباء العصر الذى يعيش فيه. ولنيوتن عدة إنجازات منها اختراع حساب التفاضل والتكامل ووضع قوانين الحركة والقانون الكونى

للجاذبية. وأكد رالف والدو إميرسون فى عام ١٨٤١ أهمية هذه القوانين الأساسية بقوله: «الطبيعة مجموعة متآلفة لا نهاية لها وتتكرر فى عدد قليل جدا من القوانين. فهى تترنم بأنغام قديمة معروفة تماما بتنويعات لا حصر لها».

فالجاذبية شد يقع بين شيئين. وهى قوة لا يستطيع البشر أن يعدلوها؛ فلا يمكن زيادتها أو نقصها أو عكسها أو ردها. وقانون الجاذبية يقرر أن أى جسمين يجذب كل منهما الآخر بقوة تتناسب طرديا مع ناتج كتلتيهما، وتتناسب عكسيا مع مربع المسافة بينهما:

$$\text{الجاذبية (جـ)} = \frac{\text{ع} \times \text{كتلة ١} \times \text{كتلة ٢}}{\text{مسافة} \times \text{مسافة}}$$

حيث ع = معامل ثابت

وفى الأجسام الكونية، تعتبر كتلة الشد مركزة فى المركز. وعند مناقشة الطاقة الداخلية للأرض رأينا أن الجاذبية أدت إلى تراكم المواد السائلة الغنية بالحديد فى مركز الأرض لتشكل اللب، وبهذا تحررت الحرارة الداخلية وعملت على تكوين التطابق بالكثافة فى الأرض.

وتولِّد أنظمة الجاذبية فى الأرض والقمر والشمس بتفاعلها طاقة المد والجزر. ولاستخدام معادلة نيوتون لتقدير آثار جاذبية الشمس والقمر يلزمنا الحصول على معلومات عن الكتل والمسافات. ويبلغ قطر القمر حوالى ٣,٥٠٠ كم (٢,١٦٠ ميلا)، بينما يبلغ متوسط قطر الأرض حوالى ١٢,٨٠٠ كم (٧,٩٢٦ ميلا). ولمقارنتهما، إذا افترضنا أن حجم الأرض يعادل حجم كرة البيسبول، فإن حجم القمر يقل قليلا عن حجم كرة التنس.

وحجم القمر يبلغ حوالى جزءًا من تسع وأربعين جزءًا من حجم الأرض، وأقل تقدير لمتوسط كثافة القمر هو ٣,٣٤ يعنى أن كتلته تبلغ حوالى جزءًا من ثمانية أجزاء لكتلة الأرض. وبالمقارنة، فإن قطر الشمس حوالى ١٣٩٥٠٠٠ كم (٨٦٤٠٠٠ ميل)، ولو أن كثافتها تبلغ جزءا من أربعة أجزاء للأرض، فإن كتلتها لا تزال تبلغ حوالى

٣٣٢٠٠٠ ضعفا للأرض. وحيث إن قوة شد الجاذبية تتناسب طرديا مع الكتلة، فإن قوة شد الجاذبية لكتلة الشمس تفوق كثيرا قوة شد الجاذبية للقمر. ولكن هذا الشد الجاذبى ينقص بقسمته على المسافة مضروبة فى المسافة، وتبعد الشمس بمقدار ١٥٠ مليون كيلو متر (٩٣ مليون ميل). وعلى هذا، تقل كتلة شد الجاذبية كثيرا بالمسافة عن نظيرتها للقمر الذى يبعد عن الأرض حوالى ٣٦٨٠٠٠ كم (٢٣٩٠٠٠ ميل) فتزيد قوة جاذبيته على الأرض. وتشير الحسابات إلى أن تأثير جاذبية الشمس على الأرض يبلغ فقط ٤٦٪ من قوة جاذبية القمر على الأرض؛ أى أن قوة جذب القمر على الأرض تزيد عن ضعف قوة جذب الشمس عليها.

وللأرض آثار مدِّيَّة فريدة لأن: (١) ٧١٪ من سطحها مغطى بالمحيطات، (٢) فترة دورانها أطول من فترات دوران الكواكب الأخرى، (٣) قمرها الكبير نسبيا قريب منها. فانبعاج سطح الماء بفعل الجاذبية الذى نسميه المد يؤثر على اليابسة والماء والهواء ولكنه يتضح جليا فى ارتفاع وانخفاض سطح المحيط. إذ تظهر الشمس فوق الرأس مرة كل ٢٤ ساعة، بينما القمر يستغرق ٢٤ساعة و٥٢ دقيقة ليعود إلى وضعه فوق الرأس. ولهذا، يظهر القمر متحركا فى السماء بالنسبة للشمس. وبناء على ذلك تتحرك الانبعاجات المدِّيَّة نتيجة جاذبية القمر بارتباطها بعلاقة مع الانبعاجات المدِّيَّة الناتجة عن الشمس. وتتزامن مجموعتا الانبعاج (القمرية والشمسية) مرتين كل شهر؛ عند القمر الجديد والبدر المكتمل، عندما تتحاذى الشمس مع القمر بالأرض (الشكل ١-١٥). وهذان هما أعلى مدين فى الشهر (ويسميها البعض خطأ بالمد الربيعى). وفى الربعين الأول والثالث للقمر، تكوِّن الشمس والقمر زوايا قائمة مع الأرض، وبهذا يبلغ المد أدناه، وهو ما يسمى بالمد المحاقى.

وتُحدث الانبعاجات المدية المتحركة على سطح الأرض، وفى الغلاف الجوى المتحرك وفى اللب فرملة احتكاكية لدوران الأرض. وبتطبيق قوانين نيوتن للحركة، نرى أنه بينما يتباطأ دوران الأرض والقمر يتباعد الكوكبان فى حركتهما بحيث تطول ساعات الأيام وتقل أيام السنة. وتبتعد الأرض حاليا عن القمر ٣,٨سم (١,٥بوصة) كل سنة. وتتجسد الأيام التى تطول فى السجل الحفرى. فمثلا، أوضح الحصر الدقيق لعدد السلاسل فى هياكل المرجان (وتشبه حلقات جذوع الأشجار كثيرا) إضافات

يومية تختلف فى الحجم باختلاف فصول السنة. وتدل الدراسات التى أجريت على مرجان يبلغ عمره حوالى ٣٧٠ مليون سنة أن كل يوم يمر على الأرض فى زمن حياتها كان طوله ٢٢ ساعة تقريبا، وأن السنة كانت مدتها ٤٠٠ يوم.

الارتطام

ومن مصادر الطاقة المهمة الأخرى ما يكمن فى حركة دوران الأرض حول نفسها وحركة دورانها فى مدارها. وتشمل حركة الأرض: (١) الدوران اليومى حول محور يخترق مركزها، (٢) الدوران الشهرى لمنظومة الأرض- القمر حول مركز عام للجاذبية يقع على بعد ٤٦٨٠ كم (٢٩٠٠ ميل) من مركز الأرض فى اتجاه القمر، (٣) دوران الأرض السنوى فى مدارها حول الشمس (الشكل ١-١٦). وتقطع الأرض مسافة ٩٥٠ مليون كم (٥٩٠ مليون ميل) فى السنة فى مدارها حول الشمس - بما يزيد عن ١٠٨٠٠٠ كم/ساعة (٦٧٠٠٠ ميل/ساعة). والطاقة الحركية لهذه الحركة المدارية تبلغ ٢,٧ × ١٠^٣٣ جول(*). فإذا دخلت هذه الطاقة الهائلة فى ارتطام مباشر بأحد الكويكبات أو المذنبات المنطلقة فى مداراتها بسرعة ١٥٠٠٠٠ كم/ساعة (٩٣٠٠٠ ميل/ساعة) فستكون الأضرار كارثية وشاملة.

حاشية جانبية: الطاقة والقوة والشغل والقدرة والحرارة

تقاس فاعلية العوامل والأحداث باستخدام المصطلحات المناسبة للطاقة والقوة والشغل والقدرة والحرارة. فالطاقة **energy** هى القدرة على أداء الشغل **work**؛ وقد تكون كامنة أو حركية. فالطاقة الكامنة **potential energy** مستقرة وجاهزة لأداء العمل. فمثلا، يقع جلمود غير مستقر وحجمه كحجم المنزل عاليا فوق منحدر شديد الانحدار ولديه إمكانية الطرد والارتطام أسفل التل وإحداث كثير من الخسائر (الشكل ١-١٠أ).

(*) جول joule: وحدة عمل أو طاقة. (**المورد**- المترجم)

فالطاقة الكامنة PE للجلمود الكبير تعادل كتلته m مضروبة فى قوة الجاذبية g مضروبة فى الارتفاع h فوق مستوى معين، شو ارتفاع قاع الوادى أسفله:

$$PE = m g h$$

الطاقة الكامنة = الكتلة × قوة الجاذبية × الارتفاع

فإذا بدأ الجلمود فى الانحدار أصبحت طاقته الكامنة الآن طاقة حركية - طاقة الحركة (الشكل ١-١٠ب). وتتقرر الطاقة الحركية Kinetic energy بنصف ناتج الكتلة مضروبة فى مربع السرعة

$$KE = 1 / 2 m v^2$$

الطاقة الحركية = ١/٢ الكتلة × السرعة المنتظمة لحظيا٢

والطاقة الحركية للجلمود المطرود يضاف إلى شغلها - إذا تسبب طردها وارتطامها فى تحريك جلاميد أخرى وحدث نتيجة لحركة كتلتها سقوط للتربة والأشجار والحطام إلى أسفل التل.

فالشغل الذى يحدث للكتلة المنزلقة يتقرر بالقوة F مضروبة فى المسافة (d) حيث تساوى القوة الكتلة (m) مضروبة فى التسارع (العجلة) a

$$Force (F) = m a$$

القوة = الكتلة × التسارع (العجلة)

$$Work (w) = Fd = mad$$

الكتلة × التسارع (العجلة) × المسافة

ويمكن قياس القوة باستخدام وحدة تسمى الداين dyne. وكل داين يساوى كتلة جرام واحد تسارع لمسافة سنتيمتر واحد فى مربع الثانية.

$$dyen = lgm\ cm/ses^2$$

الداين = ١ جرام × ١ سنتيمتر / الثانية٢

فالطاقة مثل الشغل يمكن التعبير عنها على أنها داين فى سنتيمتر (داين × سنتيمتر). والشغل يعرف بأنه القوة التى تعمل على مسافة وهى فى البعد تعادل الطاقة. وقوة داين واحد تعمل على مسافة سنتيمتر واحد تسمى إيرج

erg = dyne x cm = gm cm^2 / sec^2

إيرج = داين × سم = جم × سم^٢ /ث^٢

حيث سم تساوى سنتيمترًا وجم تساوى جرامًا وث تساوى ثانية. والداين وحدة صغيرة للقوة والإيرج وحدة صغيرة للشغل. وعلى هذا، يستخدم الجول **joule** وهو وحدة قياس أكبر لقياس الظواهر الكبيرة الحجم. والجول يساوى ١٠مليون إيرج.

joule = 10^7 erg

الجول = ١٠^٧ إيرج

والانزلاق الذى يحركه جلمود ضخم مطرود ربما يتحرك بسرعة (تفوق سرعة جرى الإنسان) أو ببطء. وسواء أكان سريعا أم بطيئا، فإذا توقفت كمية المادة ذاتها عند قاع المنحدر، كان مقدار الشغل هو بذاته. وعلى أية حال، تختلف القدرة **Power**. وتعرف القدرة بأنها المعدل الذى يحدث به الشغل ويقاس بالوات.

power = Work / time = joule / second = watt

القدرة = الشغل/ الزمن = جول/ ثانية = وات

وبعد أن يؤدى الجلمود إلى تحريك الانزلاق، فماذا يحدث لإبطائه أو لإيقافه؟ الاحتكاك – الاحتكاك بالتربة التحتية والاحتكاك بالجلاميد الأخرى والرمال والحبيبات والأشجار والركام الآخر داخل الكتلة المتحركة. وكما تعلم من الانزلاق على قاعدة أخرى أو على سطح حلبة الرقص، تتولد حرارة من الاحتكاك. وعلى هذا ترتبط الطاقة الحركية بالحرارة. وتعرف الحرارة بأنها القدرة على رفع حرارة كتلة ما؛ ويعبر عنها بالسعرات الحرارية. وعلاقة الشغل بالحرارة كما يلى:

4.185 joule = 1 calorie

٤,١٨٥ جول = ١ سعر حرارى

حاشية جانبية: الماء - أعجب المواد على سطح الأرض

من السمات الإنسانية المفهومة أن نسمى الأشياء العامة والوفيرة بالعادية، بينما الأمور غير الشائعة والنادرة نعتبرها عجيبة. وأكثر المواد انتشارا على ظهر الأرض هو الماء. فهو جزء من حياتنا اليومية بحيث يسهل اعتباره شيئا عاديا. ولكن هذه النزعة تذهب بنا بعيدا. فالماء بحق مركب كيميائى غير عادى. فإذا لم يكن مادة عجيبة لاختلف كل شىء على الأرض من الطقس إلى الحياة اختلافا جذريا. ولنتذكر بعضا من خصائص هذه المادة الأشد عجبا.

١- فالماء هو المادة الوحيدة على سطح الأرض الذى يوجد بكميات وفيرة فى حالات صلبة وسائلة وغازية.

٢- والماء له أعلى قدرة على الاحتفاظ بالحرارة من كل المواد الصلبة والسائلة فيما عدا الأمونيا (النشادر) السائلة. فالماء يختزن كمية هائلة من الحرارة؛ ودورة الماء فى المحيط تنقل مقادير هائلة من الحرارة.

٣- والماء أعلى قدرة على توصيل الحرارة من جميع السوائل فى درجات حرارة سطح الأرض العادية.

٤- والماء أعلى مادة فى الحرارة الكامنة فى التبخر؛ إذ تحتاج إلى ٥٣٩,٦ سعرا حراريا لتبخير جرام واحد من الماء. وهذه الحرارة الكامنة يحملها بخار الماء إلى الغلاف الجوى ويطلقها عندما يتكثف ويسقط مطرا سائلا. وتنتقل الحرارة إلى الغلاف الجوى عندما تدور الكتل الهوائية.

٥- وللماء الخاصية الثانية بعد الأمونيا (النشادر) فى أعلى حرارة كامنة بالاندماج. وعندما يتحول الماء من حالة الصلابة إلى حالة السيولة يفقد ٧٩,٧ سعرا لكل جرام.

٦- والماء ذو جزئ ثنائى الأقطاب. فذرات الأكسجين السلبية وذرات الإيدروجين الإيجابية تتحد سويا لتكون جزيئا له جانب إيجابى وآخر سلبى (الشكل ١-١٤). وهذان القطبان الإيجابى والسلبى يسمحان للماء بالاتحاد سريعا بالأيونات المسجونة.

٧- والماء له أعلى قدرة على العزل الكهربائى المستديم من جميع السوائل. وهذه الخاصية تميل إلى الاحتفاظ بالأيونات بعيدة حتى تمنع اتحادها وبذلك يحافظ على المحلول. وهذا هو السبب فى أن الماء يدعى المذيب العالمى.

٨- والماء ذو أعلى توتر سطحى بين السوائل.

٩- والماء يتمدد بنسبة ٩٪ عندما يتجمد. وهذا سلوك غريب. فالمادة عادة يتقلص حجمها وتزيد كثافتها عندما تبرد. وتبلغ كثافة الماء ذروتها عند درجة الحرارة ٤°م (٣٩° ف). وللتصور ماذا يكون عليه حال البحيرات والمحيطات إذا كان الجليد أثقل من الماء السائل وغطس الجليد إلى القاع.

دورة الطاقة والمخاطر البشرية

والأرض جسم غير هادئ وغير مستقر. فالأرض كوكب نشيط نمطى الحركة - وفير الدورات. فهى تدور حول الشمس فى الوقت الذى تدور حول نفسها، والماء يدور فى المحيطات وفى الغلاف الجوى؛ وقيعان المحيطات (القشرة المحيطية) تتشكل وتنتشر وتعيد دورتها إلى باطن الأرض (الشكل ٢-٦)؛ والقارات تنجرف؛ والصهارة ترتفع من باطن الأرض وتتصلب على شكل صخور، ثم تتعرض للتجوية وتتحرك على شكل رواسب عن طريق عوامل التحات (الشكل ١-١٧). وكل هذه الأنماط الحركية سنتناولها بالتفصيل فى الفصول التالية لفهم أكثر هذه الطاقات (الكارثية) فاعلية.

فالأرض يجب النظر إليها على أنها كوكب حركى تتدفق فيه الطاقات العظمى. ونلمس فى حياتنا اليومية كثيرا من التأكيد على تدفق تلك الطاقات؛ فمثلا، يزداد تعرضنا لأشعة الشمس خلال النهار ونلاحظ ارتفاع وانخفاض مستوى الماء فى الانبعاجات المدِّيَّة على الأرض. وتعتاد الأرض يوميا على القوى المسببة للكوارث مثل الزلازل وثوران البراكين والعواصف والفيضانات والانزلاقات الأرضية، والحرائق وارتطام النيازك والانقراضات. وهذه الأحداث التى تغذيها الطاقة شائعة ولكن مقاييسها تختلف اختلافا بيِّنا باختلاف الزمان والمكان. وما يهمنا هنا هو نبض الطاقة

المركزة، فهو السبب فى الكوارث الطبيعية، ولكن كيف تتكرر النبضات الضخمة؟ وعموما هناك علاقة عكسية بين تكرار العملية ومقدارها. فالأحداث المتكررة قليلة المقدار، بما فيها الطاقة المبذولة فى كل حدث. وكلما زادت قدرة الحدث قلت مرات تكراره (الشكل ١-١٨).

وهناك طريقة أخرى للنظر إلى مدى تكرار الأحداث الكبيرة بالفعل بمقارنة قدرتها بفترات تكرارها، أى بعدد السنين التى تمر بين حدثين من نفس الحجم (الشكل ١-١٩). وعموما كلما كبر حجم الحدث وزادت طاقته، طالت فترة تكراره - فالأكبر أندر.

هلاك الإنسان

ما مدى تكرار الأحداث الكبرى؟ أُجْرِىَ تقدير برصد عدد الوفيات البشرية مقابل نمط الكارثة ومساحتها الجغرافية. (الجدول ١-٥). والأرقام المعروضة تحفظية تماما وأقل بالفعل من عدد الوفيات الحقيقية، ولكن أنماطها تظل قابلة للتقدير. لاحظ أن أكبر المهلكات فى العالم خلال فترة طولها ٣٤ عاما كانت الأعاصير الرعدية البرقية المطرة (هوريكين) والزلازل. وتضاعف عدد الوفيات الناجمة عن أحداث تغذيها الشمس عن الكوارث الناجمة عن الطاقة الداخلية للأرض.

وهناك طريقة أخرى لتقدير الكوارث الطبيعية هى التركيز على الأحداث الكارثية الكبيرة. وسجلت شركة النهضة السويسرية عدد ٤٠ كارثة قتل فيها عدد كبير من الناس بين عامى ١٩٧٠ و١٩٩٩(الجدول ١-٦). لاحظ أن ٣٧ كارثة من عدد ٤٠ كارثة كانت طبيعية. وأكثر الكوارث تكرارا وقتلا على نطاق واسع كانت الزلازل (٢٠ من ٤٠) ثم الهوريكين (٩ من ٤٠). وعلى أية حال، قتلت ٩ عواصف أكثر من ٤٩٧٣٤٤ نسمة؛ بينما قتل ٢٠ زلزالا ٥٥١٠٤٣ نسمة. ولاحظ أيضا أن ٢١ من ٤٠ من أسوأ الكوارث حدثت فى حزام يمر ببنجلاديش والهند وإيران حتى تركيا. وحدثت كارثة واحدة قاتلة على نطاق واسع فى غربى أوروبا ولم يحدث منها شىء فى الولايات المتحدة وكندا.

والعلاقة بين كثافة التعداد السكانى وعدد الوفيات علاقة مدهشة حيث إن آسيا والشرق الأوسط يتصدران القائمة بما يزيد عن ٨٥٪ من الوفيات. والخبرة من آسيا والشرق الأوسط تطرح وجهة نظر واقعية لما يمكن أن يحدث للتعداد السكانى فى الكرة الأرضية إذا استمر تسارع النمو السكانى. فحيثما يتركز البشر تحصد الكوارث كثيرا من الأرواح.

وتصرع الكوارث كثيرا من الناس، ولكن ما هو تأثيرها على الأحياء؟ وأحد هذه الآثار هو زيادة معدلات الانتحار. إذ أسفرت إحدى الدراسات عن معدلات الانتحار بين حوالى ٢٠ مليون نسمة من ٣٧٧ محافظة فى الولايات المتحدة فى أعقاب كوارث طبيعية عن زيادة قدرها ١٣,٨٪ فى السنوات الأربع اللاحقة لأحد الفياضانات، وزيادة قدرها ٣١٪ فى السنتين التاليتين لأحد أعاصير الهوريكين، وزيادة قدرها ٦٢,٩٪ فى السنة الأولى بعد عام واحد من أحد الزلازل. وزاد معدل الانتحار فى كل الولايات المتحدة إلى أقل من ١,٣٪ فى أثناء تلك الفترات الزمنية.

خسائر التأمين

والنظرة إلى الكوارث بعيون شركات التأمين وخسائرها من الدولارات تعطينا قائمة مختلفة جدا عن الكوارث التى حدثت فى الفترة ما بين ١٩٧٠ و١٩٩٩ (الجدول ١-٧). لاحظ أن ٣٨ من ٤٠ من أعظم الكوارث تكلفة كانت بسبب القوى الطبيعية. وتسود العواصف قائمة أكثر الأحداث خسائر (٢٧ من ٤٠)، بينما أضافت الزلازل أربعا منها فقط. وتعرض أوضاع أسوأ خسائر بالدولار للكوارث بالنسبة لصناعة التأمين (الجدول ١-٧) صورة مختلفة تماما عن قائمة أسوأ الأوضاع بالنسبة للوفيات. وأعظم الخسائر التأمينية بالدولار حدثت فى الولايات المتحدة (٢٣ من ٤٠) وفى أوروبا (٩) وفى اليابان (٤). أما الدول الغنية فتأمينها أفضل وسكانها يعيشون فى مبان آمنة.

نظرية الهيولية

تلقى النهضة الجديدة بنظرية الهيولية نظرة أخرى على الكوارث الطبيعية. فالمعادلات الرياضية التى تصف عمليات الأرض يزداد فهمها على أنها غير متوقعة أو عشوائية. وربما يؤدى تغيير مبدئى صغير إلى سلسلة من التغيرات الكبرى. فمثلا، لم يعد الخبراء ينظرون إلى تغير المناخ على أنه نظام يتغير تدريجيا، بل على أنه نظام يتغير فى جولات كبرى. وهناك قصة شائعة تشرح الهيولية، حيث إن فراشة تخفق بجناحيها فى الهواء فى بيينج ربما تحدث سلسلة من التغيرات تؤدى إلى حدوث عاصفة رعدية فى سان فرنسيسكو بعد أسبوعين. وتغيير الإنسان للأرض أكبر من مثيله الصادر عن الفراشة والنتائج المترتبة على أعمالنا ربما كانت فى مجموعها غير متوقعة، تحدث أحداثا ما يحتمل أن يدعى بالكوارث الطبيعية.

موجز

تحدث الكوارث أينما أطلقت الأرض طاقتها المركزة. وأهم مصادر للطاقة هى: (١) باطن الأرض الذى يطلق حرارته المتولدة بالخمود المستمر للعناصر النشيطة الإشعاع بعملية الانصهار النووى. (٢) الشمس، حيث إن الاندماج النووى طاقة إشعاعية يستقبلها سطح الأرض وتزيد ٥٣٠٠ مرة عن الطاقة المنبعثة من باطنها. (٣) شد الجاذبية داخل الأرض الذى يساعد على تدفئة الباطن، بينما يولد الشد بين الأرض والقمر والشمس طاقة المد والجزر. (٤) الارتطام بالكويكبات والمذنبات التى ساعدت على رفع درجة حرارة الأرض فى عهودها الغابرة.

وأدت المقادير الهائلة من الحرارة الداخلية فى الأرض منذ بدايتها إلى الإذابة الشاملة. وتقوم العناصر المشعة التى ساعدت على رفع درجة حرارة باطن الأرض عند خمودها بهذا العمل وفقا لمعدلات قابلة للقياس تعرف بأنصاف الأعمار. فالعناصر المشعة التى تخمد تعمل كساعات تستخدم لتقدير تاريخ الأحداث فى عمر الأرض. فالأرض عمرها ٤,٥٧ بليون سنة.

ويستخدم حوالى ربع طاقة الشمس التى تصل إلى الأرض فى تبخير الماء لكى تبدأ الدورة المائية. وتحت تأثير الجاذبية يسقط الثلج والمطر عائدا إلى الأرض ثم يجرى فى مجار على شكل مثالج وأنهار ومياه جوفية حتى يعود الماء ثانية إلى المحيط لتكتمل الدورة. وعندما يتحرك الجليد والماء والهواء تعمل كعوامل للتعرية (التحات) التى تبرى الأرض وتكدس حطامها فى قيعان المحيطات.

ولتدفق الطاقة على الأرض فى اليابسة والمحيط والغلاف الجوى آثار مهمة على الإنسان. وأعظم المهلكات للإنسان فى القرن العشرين هى الأعاصير الهوريكين والزلازل، وتزيد معدلات الوفيات فى آسيا والشرق الأوسط. وكلما كبر مقدار الحدث قلت مرات تكراره.

مصطلحات للمذاكرة

كويكب	asteroid
الغلاف الجوى	atmosphere
قبل الزمن الحالى	B. C. E.
مئوية	centigrade
مذنب	comet
وحدة قياس النشاط الإشعاعى	curie
توصيل	conduction
قارة	continent
الحمل الحرارى	convection
لب/ قلب	core
قشرة	crust
معامل إزاحة كهربائية	dielectric constant
زلزال	earthquake
عنصر	element

energy	طاقة
erosion	نحت/ تحات/ تعرية
Fahrenheit	فهرنهايت
force	قوة
forces of construction	قوى البناء
forces of destruction	قوى الهدم
frequency	تكرار
glacier	مثلجة – مجلدة
gravity	جاذبية
half-life	عمر النصف
heat	حرارة
hydrologic cycle	الدورة المائية
igneous rocks	صخور نارية
ion	أيون
isotope	أحد النظائر
kinetic energy	طاقة حركية
latent heat of fusion	الحرارة الكامنة فى الاندماج
latent heat of vaporization	الحرارة الكامنة فى التبخر
magma	صهارة
magnitude	مقدار/ قدرة
mantle	الوشاح
meteorite	النيزك
nuclear fission	انشطار نووى
nuclear fusion	اندماج نووى
potential energy	الطاقة المرتقبة
power	القدرة

ذو نشاط إشعاعى	**radioactive**
فترة الترقب	**return period**
راسب	**sediment**
توتر سطحى	**surface tension**
بركان	**volcano**
الشغل	**work**

أسئلة للمراجعة

١ – ما مصادر الطاقة الرافعة لحرارة باطن الأرض فى الأزمنة الأولى؟

٢ – ما مقدار الطاقة الواردة إلى سطح الأرض والمتدفقة إليها من الداخل بمقارنتها بالساقطة عليها من الشمس؟

٣ – كيف يختلف الاندماج النووى عن الانشطار النووى؟

٤ – اشرح كيف تعمل دورة الماء الهيدرولوجية ؟ وما دور كل من الشمس والجاذبية؟

٥ – اشرح آثار كل من «قوى البناء الداخلية» مقابل «قوى التدمير الخارجية» على سطح الأرض.

٦ – ما عمر الأرض؟ كيف تقرر ذلك؟

٧ – بعد تجمد بلورات الزركون من صخر نارى، كيف تستطيع أن تقرر متى تكوّن الصخر (تصلب)؟

٨ – أين وجدت أقدم صخور الأرض المعروفة؟ وما عمرها؟

٩ – لماذا يكون لقمرنا الصغير نسبيا أثر للجاذبية أكبر من أثر الشمس العملاقة؟

١٠- ما هى سرعة دوران الأرض فى مدارها حول الشمس؟

١١- ما هى الخواص التى تجعل الماء عجيبا جدا؟

١٢- ما هى الكوارث الطبيعية التى أهلكت أكبر عدد من الناس فى القرن العشرين؟ فى أى مكان من العالم أحدثت الكوارث الطبيعية أكبر قدر من الوفيات؟ فى أى مكان من العالم حدثت أكبر خسائر للتأمينات من الكوارث الطبيعية؟

١٣- ما هى العلاقة بين مقدار كارثة ما ومعدل تكرار حدوثها؟

أسئلة لمزيد من التأمل

١ - هل يمكن أن نسمى زلزالا كبيرا أو ثورة بركان عظيم كارثة طبيعية إذا لم تحدث خسائر فى أرواح البشر أو دمار فى المبانى؟

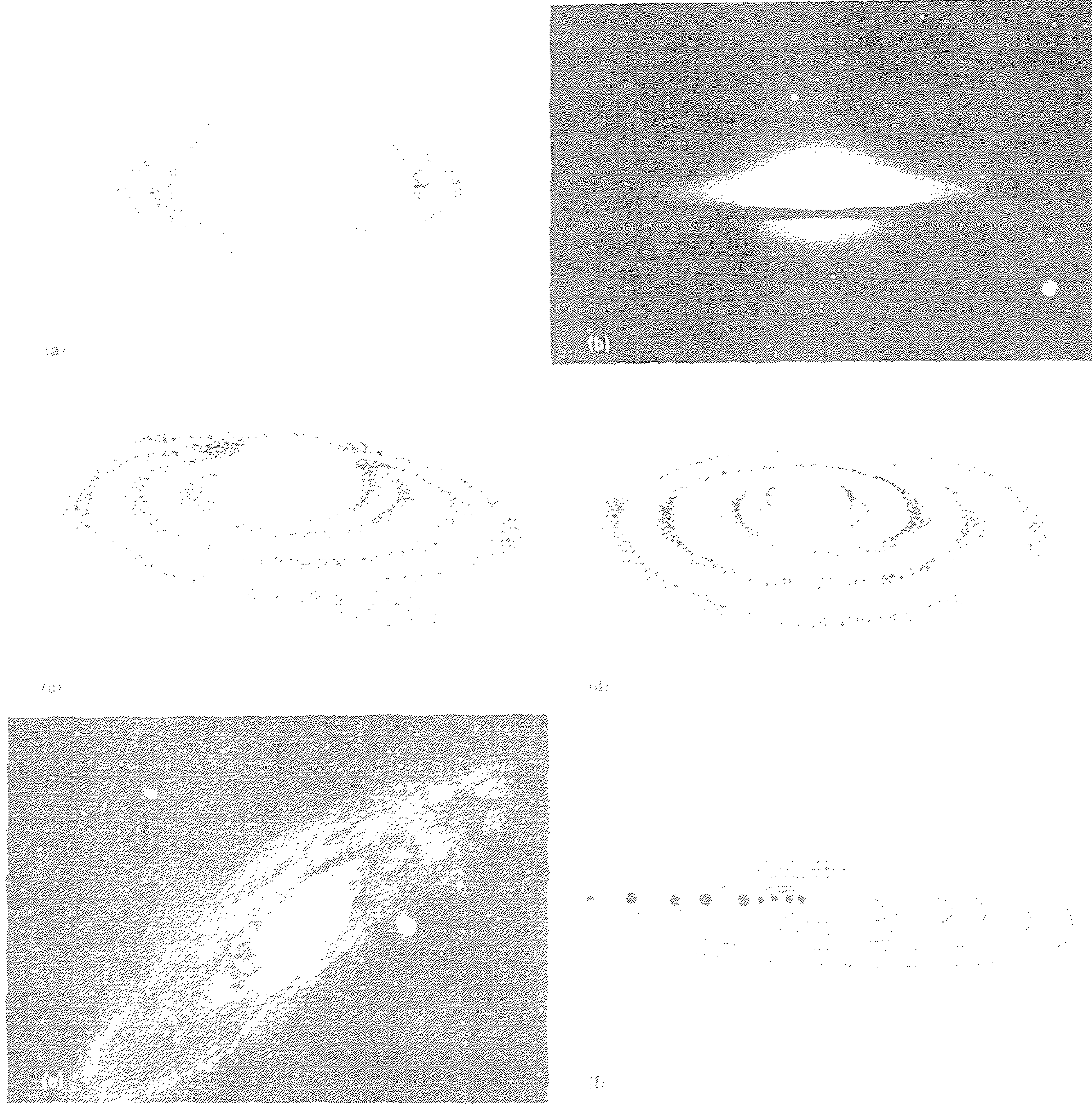
٢ - هل يحتمل أن تقفز المفاعلات النووية الطبيعية الجديدة إلى مسرح الأحداث على الأرض؟

٣ - ماذا يكون عمرك بالنسبة المئوية للزمن الجيولوجى؟

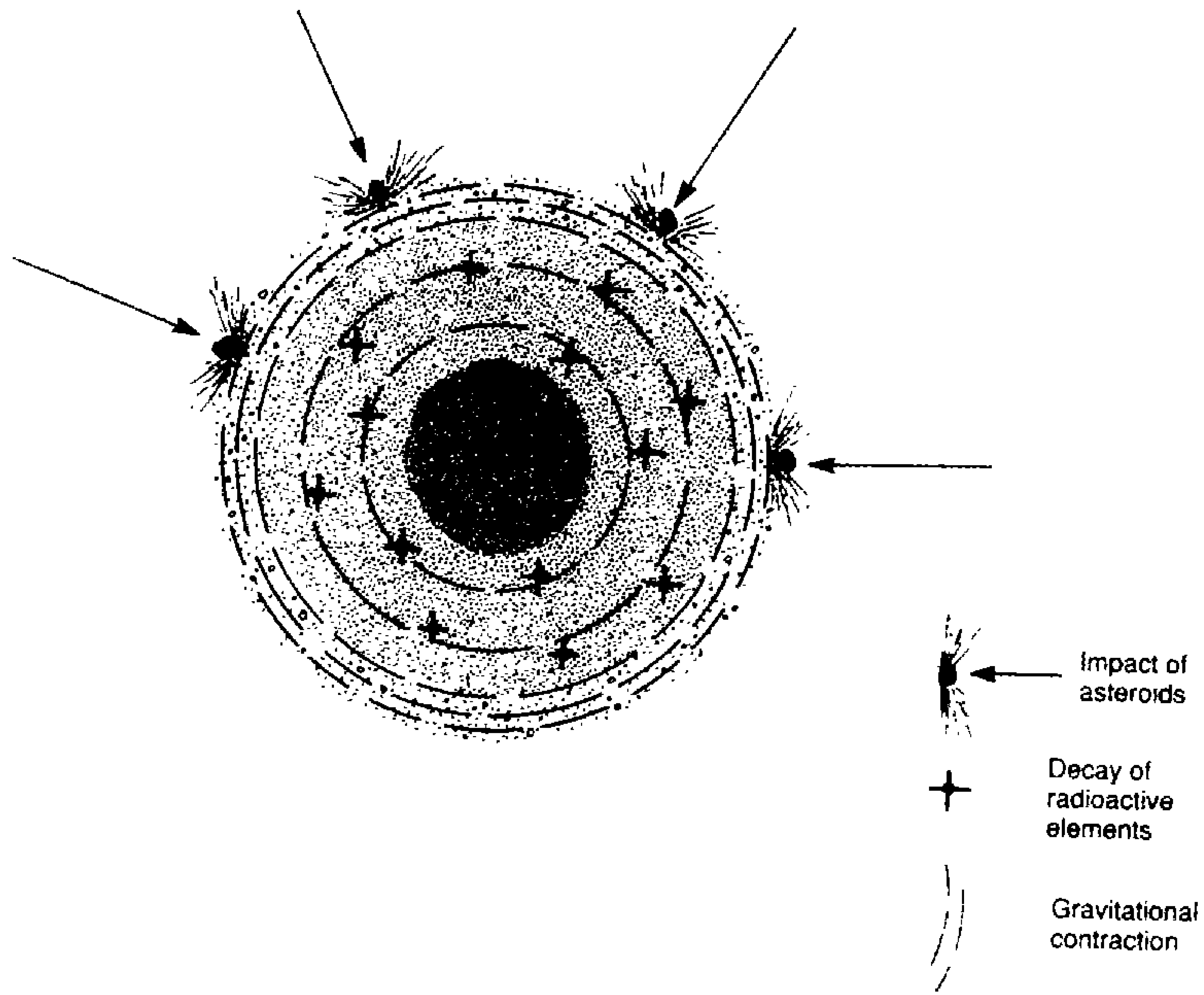
٤ - إذا توقف تدفق الحرارة من باطن الأرض. فماذا يحدث لليابسة؟ وبعد أن يتوقف تدفق الحرارة الداخلية لمدة ١٠٠ مليون سنة، فماذا يكون مظهر الأرض لزائر المستقبل من الفضاء؟

٥ - متى تصبح تصميمات المبانى على سطح الأرض محصنة ضد الكوارث ويتناقص العدد الكبير من الوفيات؟

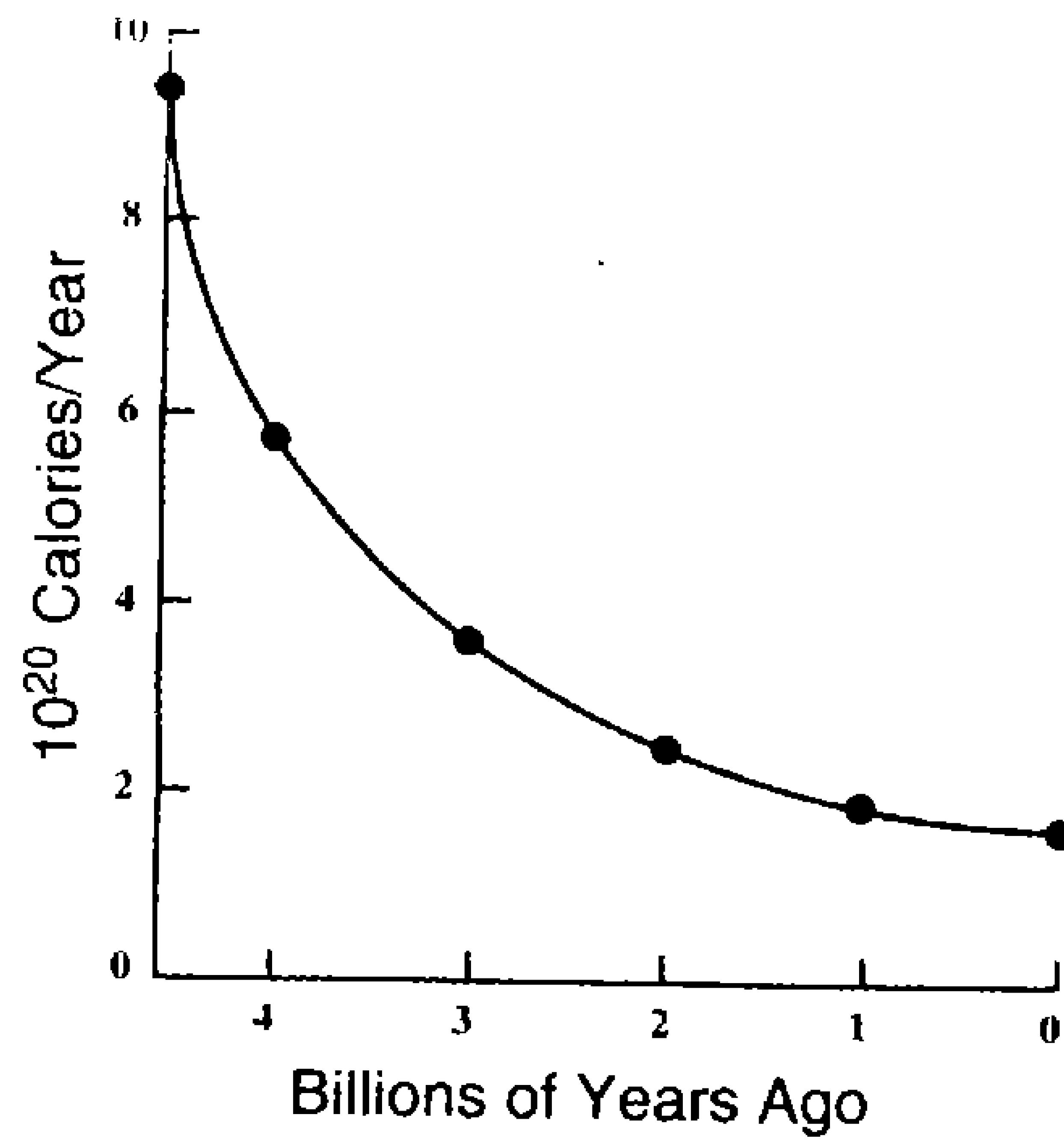
أشكال الفصل الأول



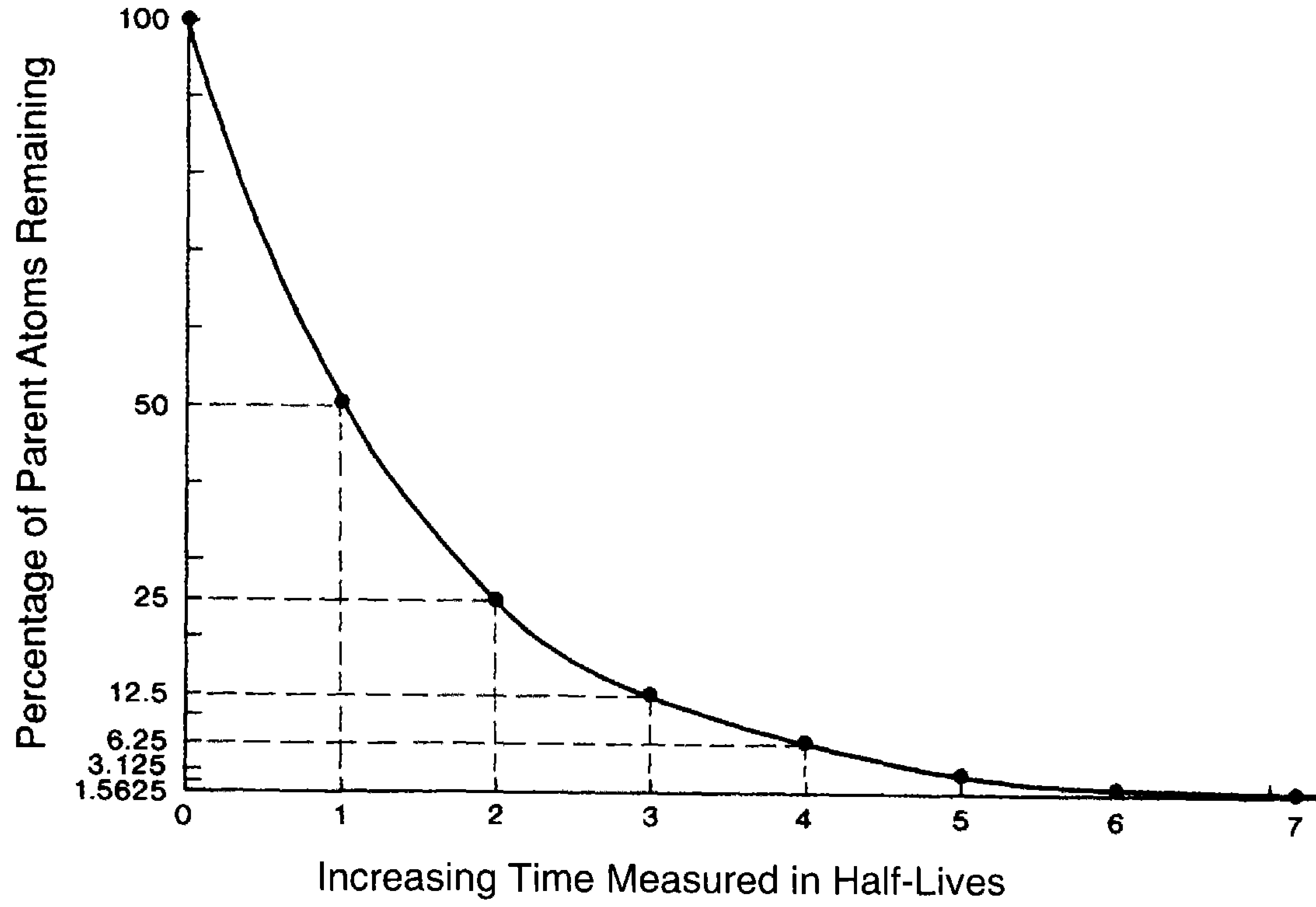
الشكل (١-١) نظرية أصل المجموعة الشمسية. (أ و ب) مبدئيا، سحابة كروية دوَّارة ضخمة تتكون من الجليد والغاز والحطام. (جـ) تتقلص الكتلة الدوَّارة على شكل قرص منبسط يتركز معظم كتلته فى المركز. (د و هـ) تتكون الكواكب على شكل كتل تتصادم ويلتصق بعضها ببعض. (و) تحاط الشمس الملتهبة بالكواكب. وتأتى الأرض ثالثة الكواكب بعدا عن الشمس.



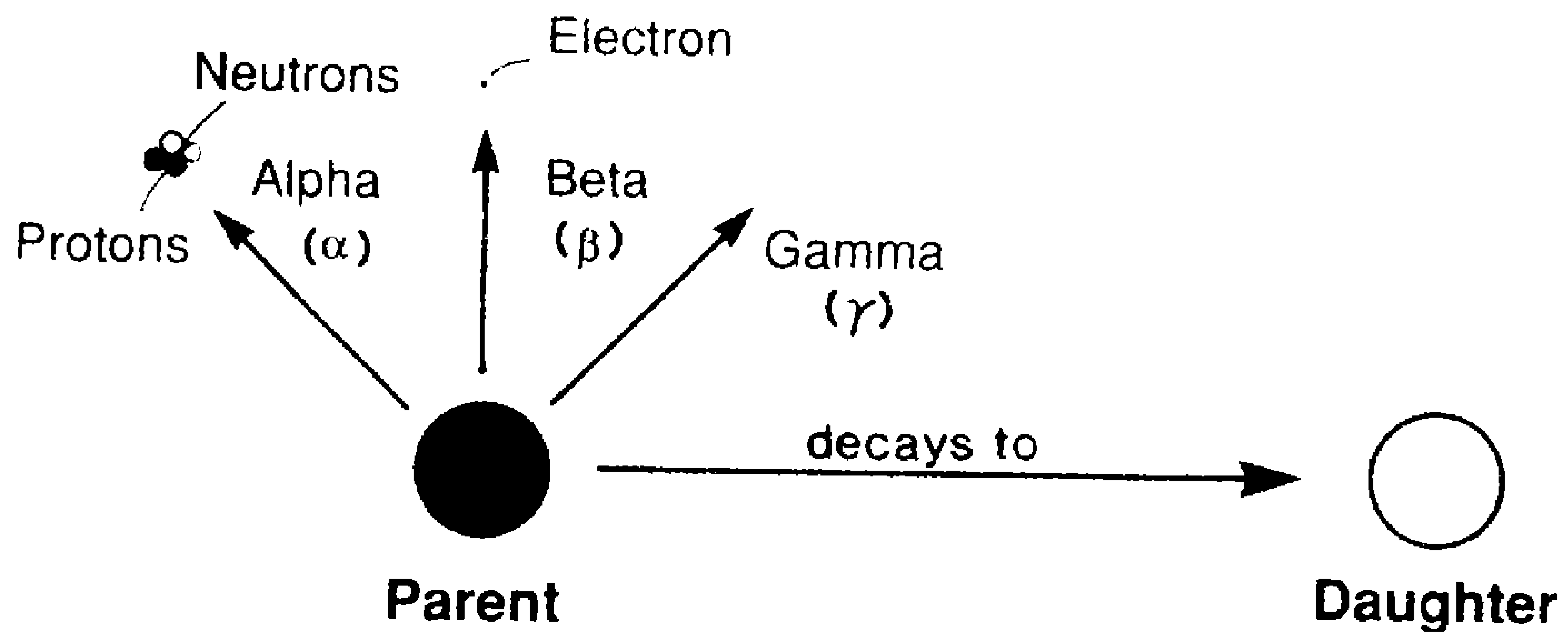
الشكل (١-٢) عمليـات توليد الحـرارة أثناء سنوات تكوين الأرض وتشـمل: (١) ارتطام الكويكبات؛ (٢) خمود العناصر النشيطة الإشعاع؛ (٣) سحب الجاذبية.



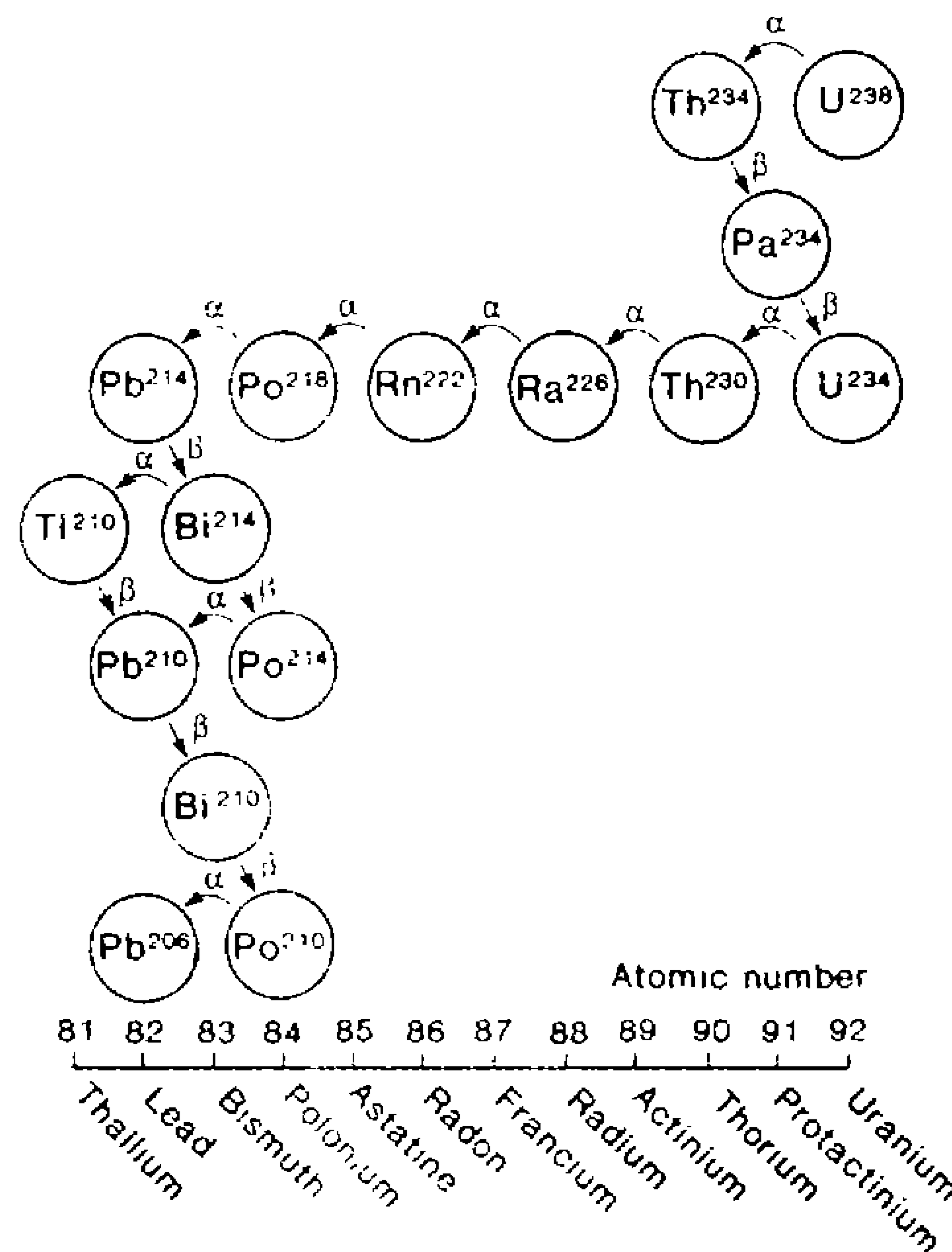
الشكل (١-٣) مـعـدل إنتـاج الحـرارة من خـمـود الذرات النشـيطة الإشـعـاع تناقص على مـدى تاريخ الأرض.



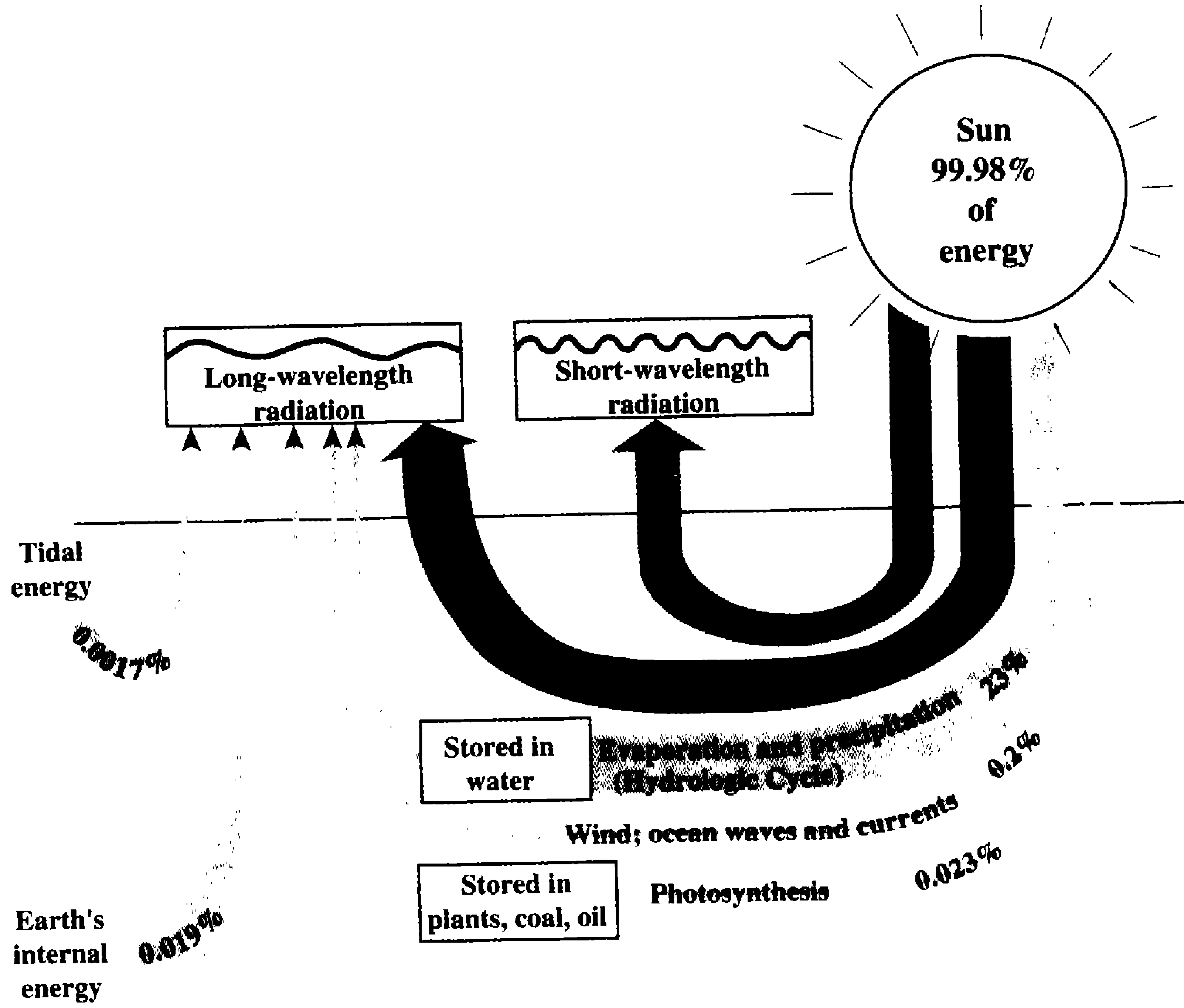
الشكل (١-٤) منحنى التضاعف اللوغاريتمى السلبى يوضح خمود الذرات الأم النشيطة الإشعاع لتكون الذرات الابنة المستقرة بمرور الزمن. ويشهد عمر النصف تفكك نصف الذرات الأم المتبقية.



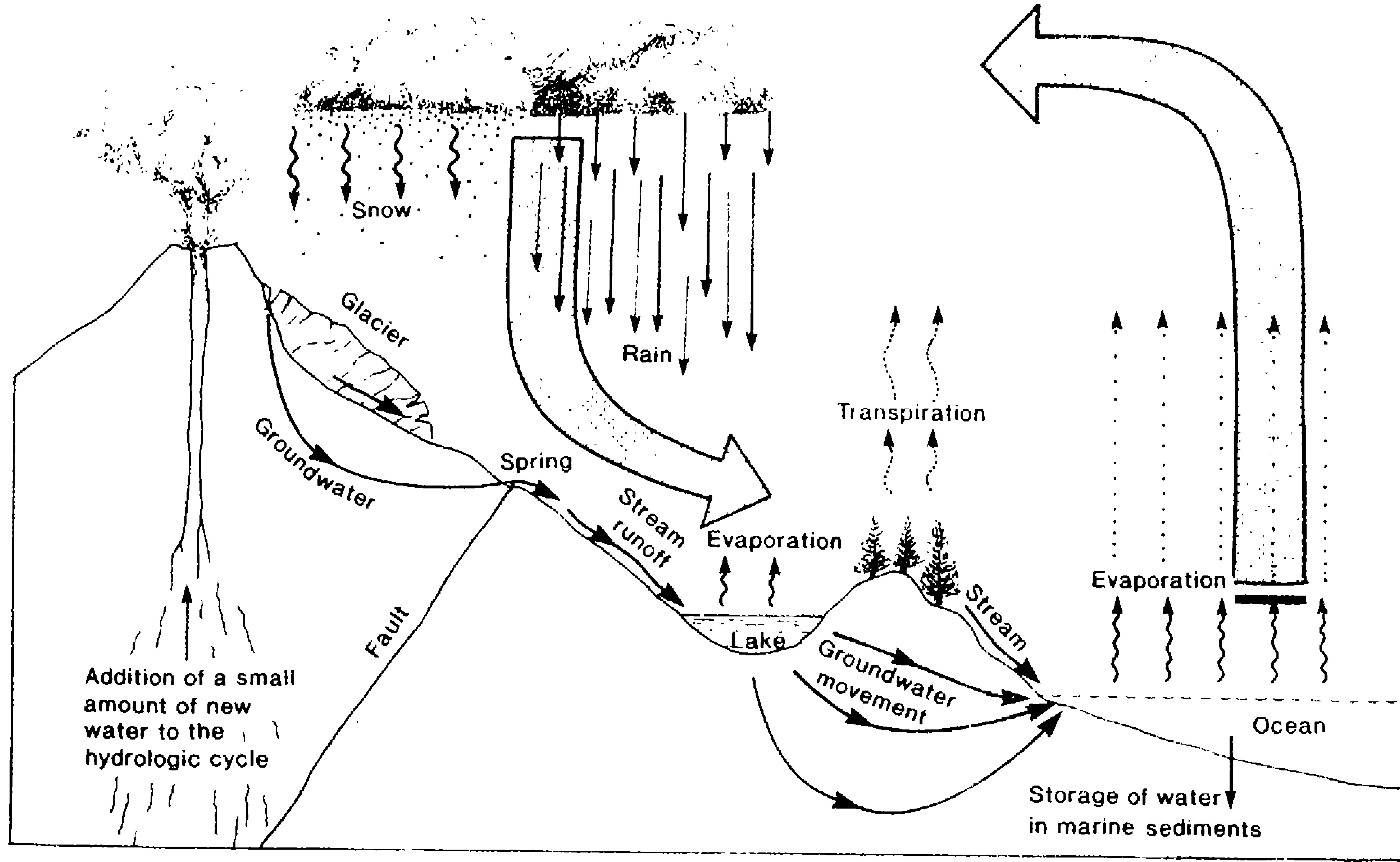
الشكل (١-٥) تخمد النواة الأم النشيطة الإشعاع لتصبح نواة ابنة أصغر ببث جسيمات ألفا (مثل نواة ذرة الهيليوم: أى بروتونين ونيوترونين)، وجسيمات بيتا (إلكترونات)، وإشعاع جاما (مثل آشعة إكس).



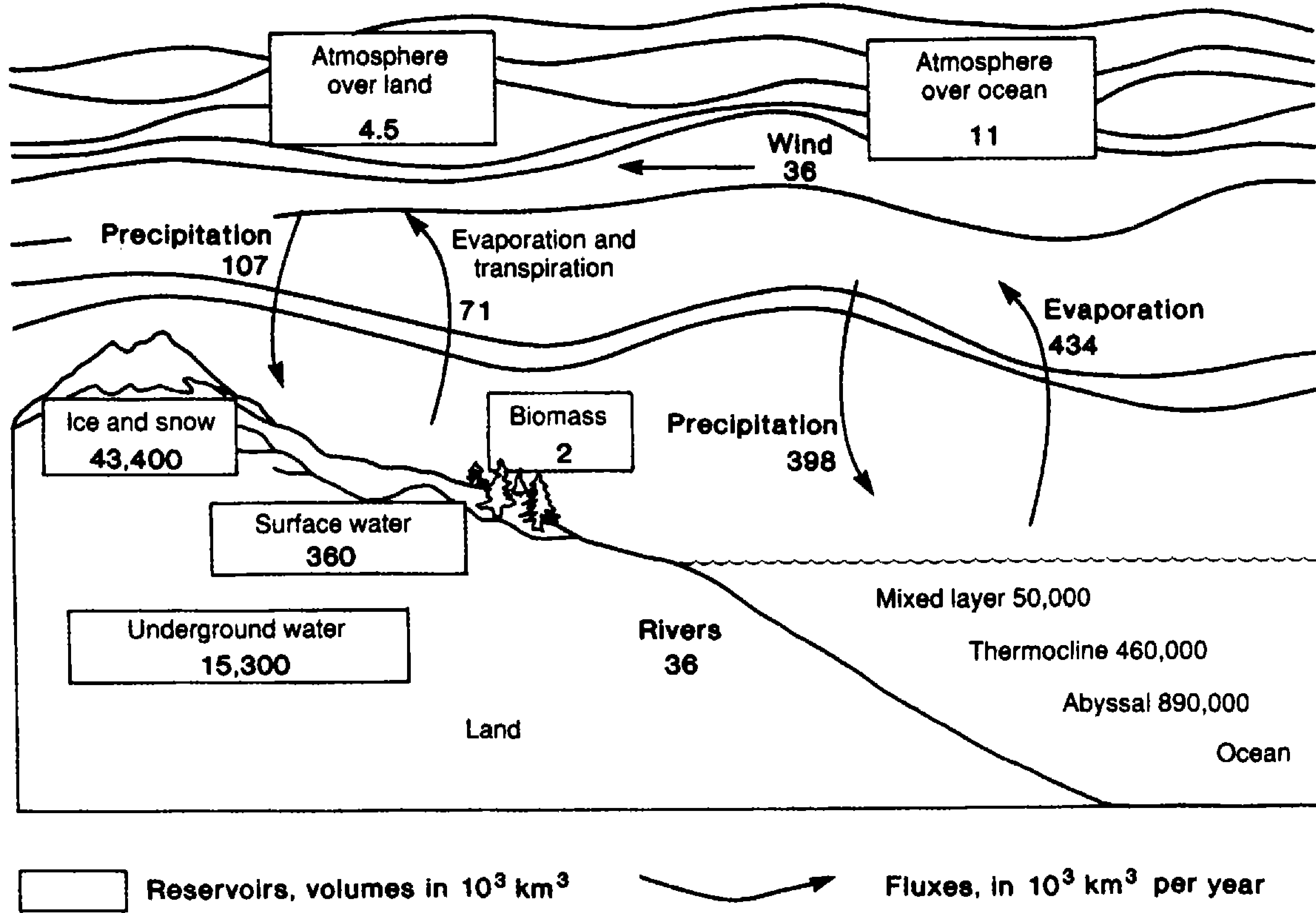
الشكل (١-٦) خمود اليورانيوم ٢٣٨ المشع إلى رصاص ٢٠٦ مستقر خلال مراحل عديدة للذرات المتوسطة الإشعاع. الرقم الذرى هو عدد البروتونات (الجسيمات الموجبة الشحنة) فى النواة.



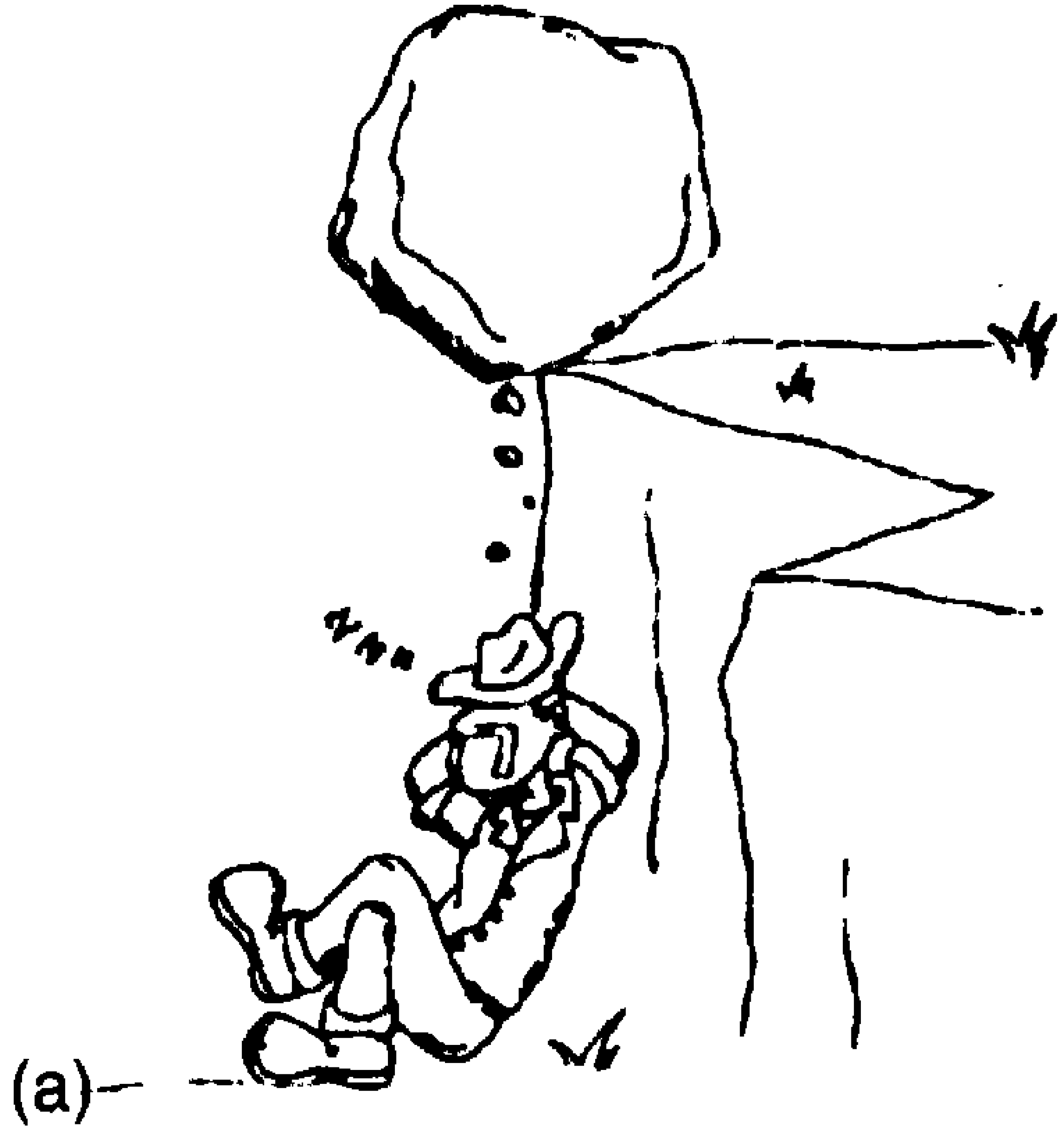
الشكل (١-٧) تدفق الطاقة على الأرض من الشمس والمد (الجاذبية) وباطن الأرض.



الشكل (١ – ٨) الدورة المائية. ترفع الشمس الماء إلى الغلاف الجوى بالتبخر ونتح النباتات. ويتكثف الماء فى الغلاف الجوى ويسقط بتأثير سحب الجاذبية. ثم يتدفق الماء على شكل مثلجات (مجلدات) وأنهار ومياه جوفية حتى يعود إلى البحر.



الشكل (١-٩) الماء يتحرك فى الدورة المائية على نطاق عالمى.

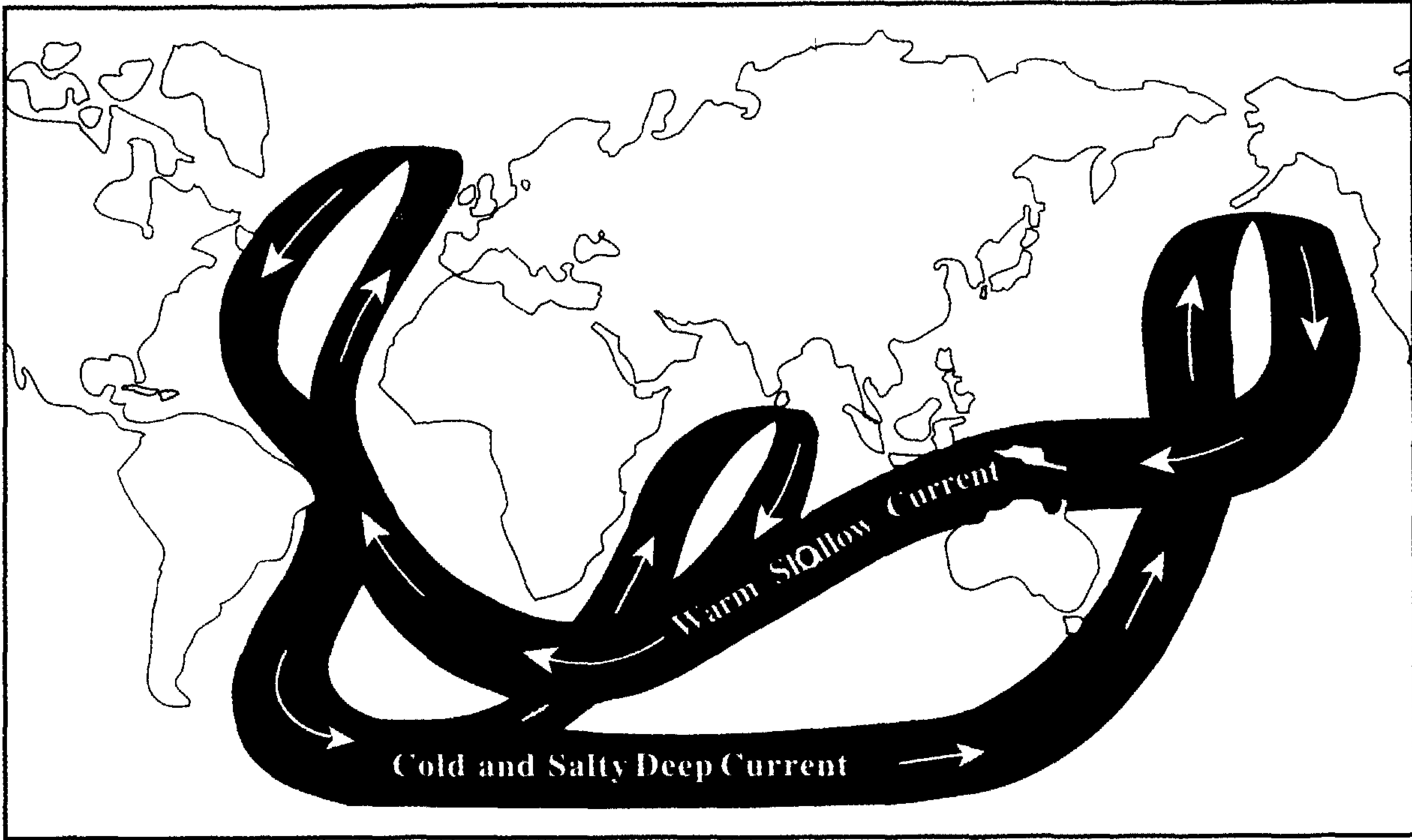




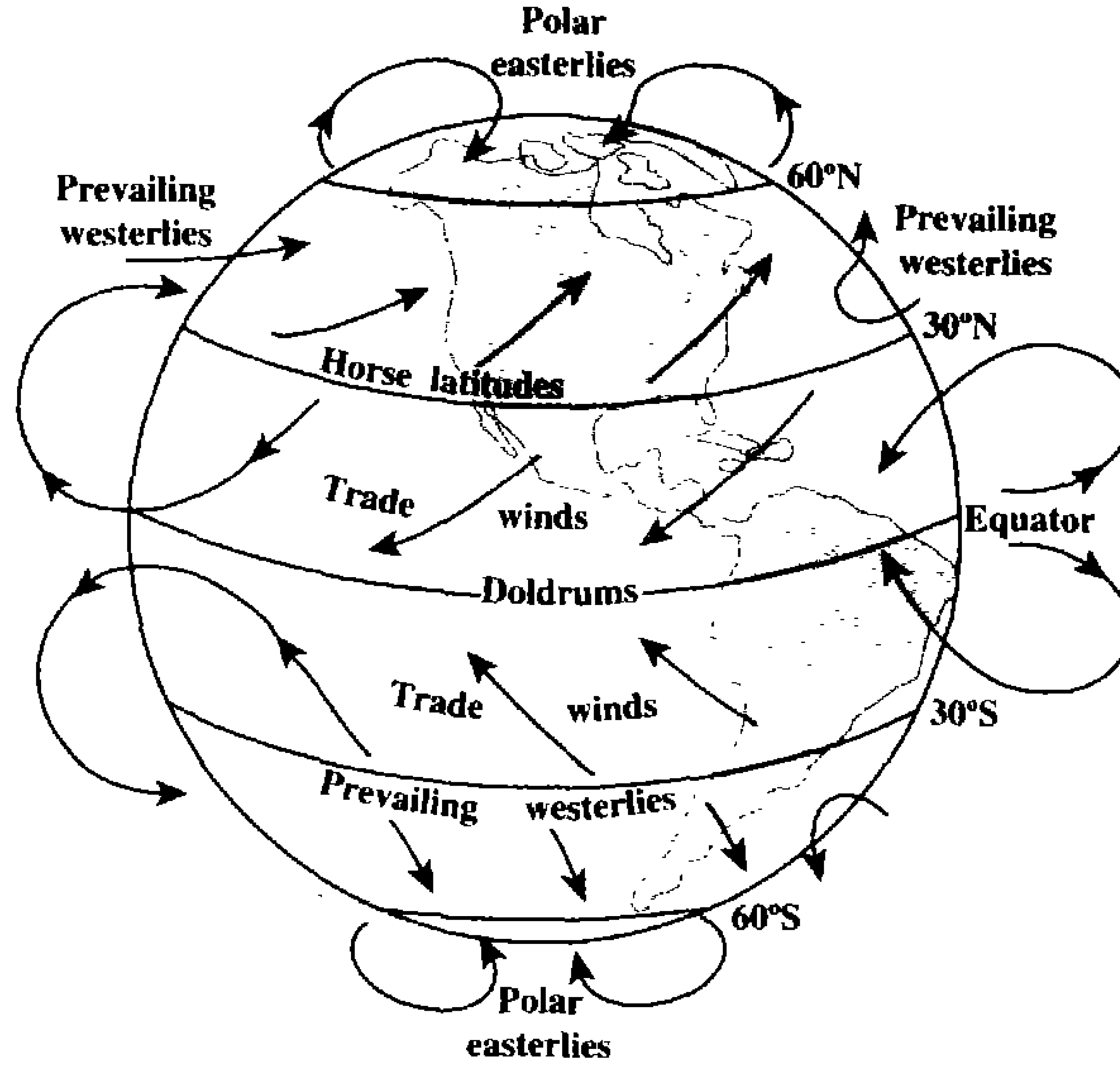
الشكل (١-١٠) (أ) عندما يستعد الجلمود المتوازن للحركة، تكون فيه طاقة كامنة. (ب) وعندما يتدحرج الجلمود تكون طاقته حركية.



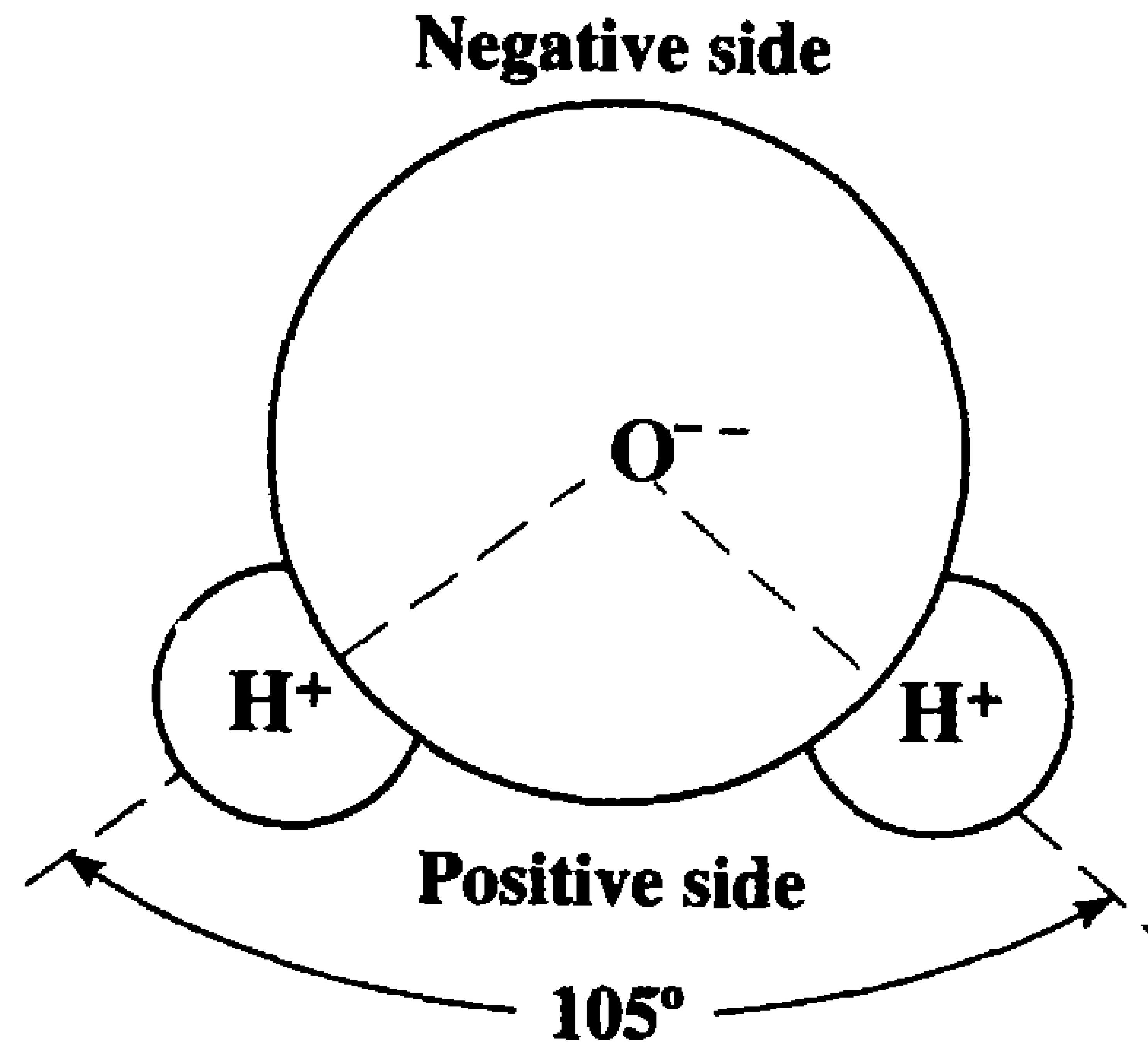
الشكل (١-١١) منظر ملتقط بالأقمار الصناعية يوضح الغلاف الجوى والمحيط: كتلتين سائلتين فى حركة دائبة تنقل الطاقة حول الأرض.



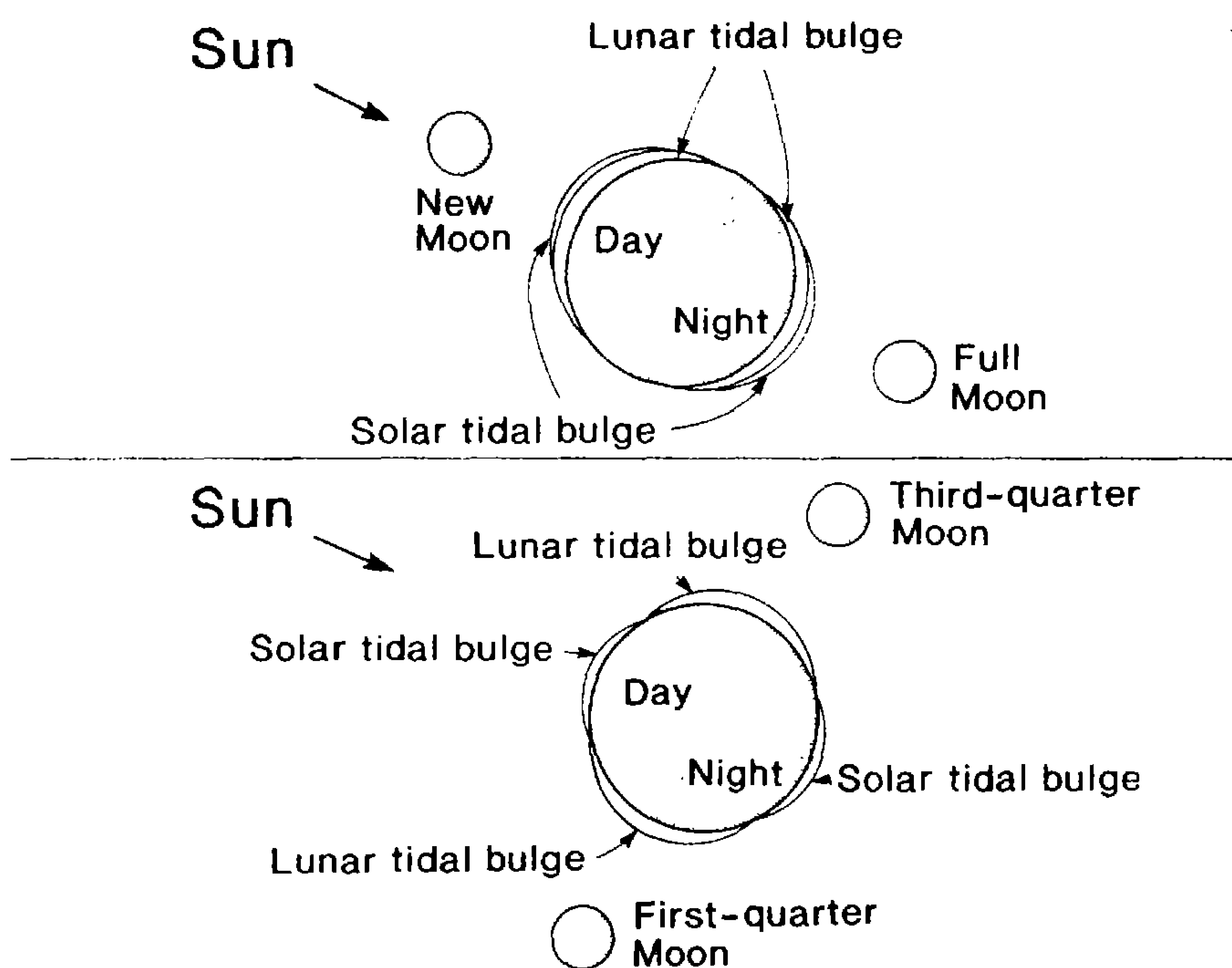
الشكل (١-١٢) يحمل نظام دورة المحيط الماء الدافئ الضحل إلى شمالي المحيط الأطلنطي، وبهذا يحافظ على بقاء درجة حرارة أوروبا بين ٥ حتى ١٠أم. ويؤدى التبريد فى المنطقة القطبية إلى زيادة كثافة ماء المحيط فيغطس ويتدفق فى الأعماق إلى الجنوب خارجا من المحيط الأطلنطي. وهذا التدفق المحيطي يعادل تدفق أنهار الأمازون ١٠٠ مرة.



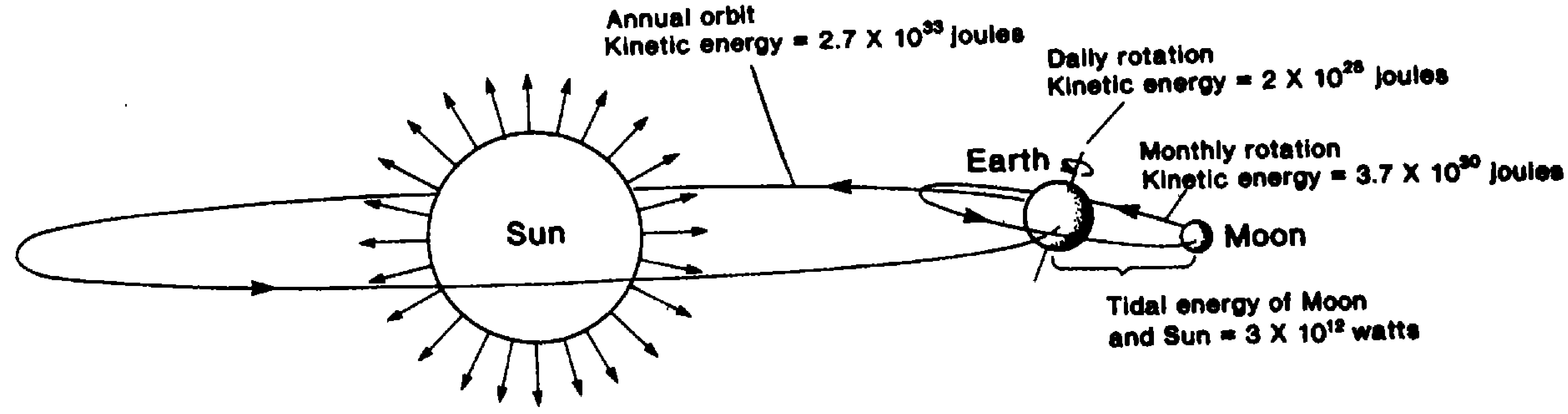
الشكل (١-١٣) نظام كبير لدورة الغلاف الجوى. يرتفع الماء الدافئ فوق خط الاستواء ثم يتحرك نحو القطبين. ويتدفق الهواء البارد حول القطبين نحو خط الاستواء. وتتأثر جميع تحركات الكتل الهوائية بدوران الأرض.



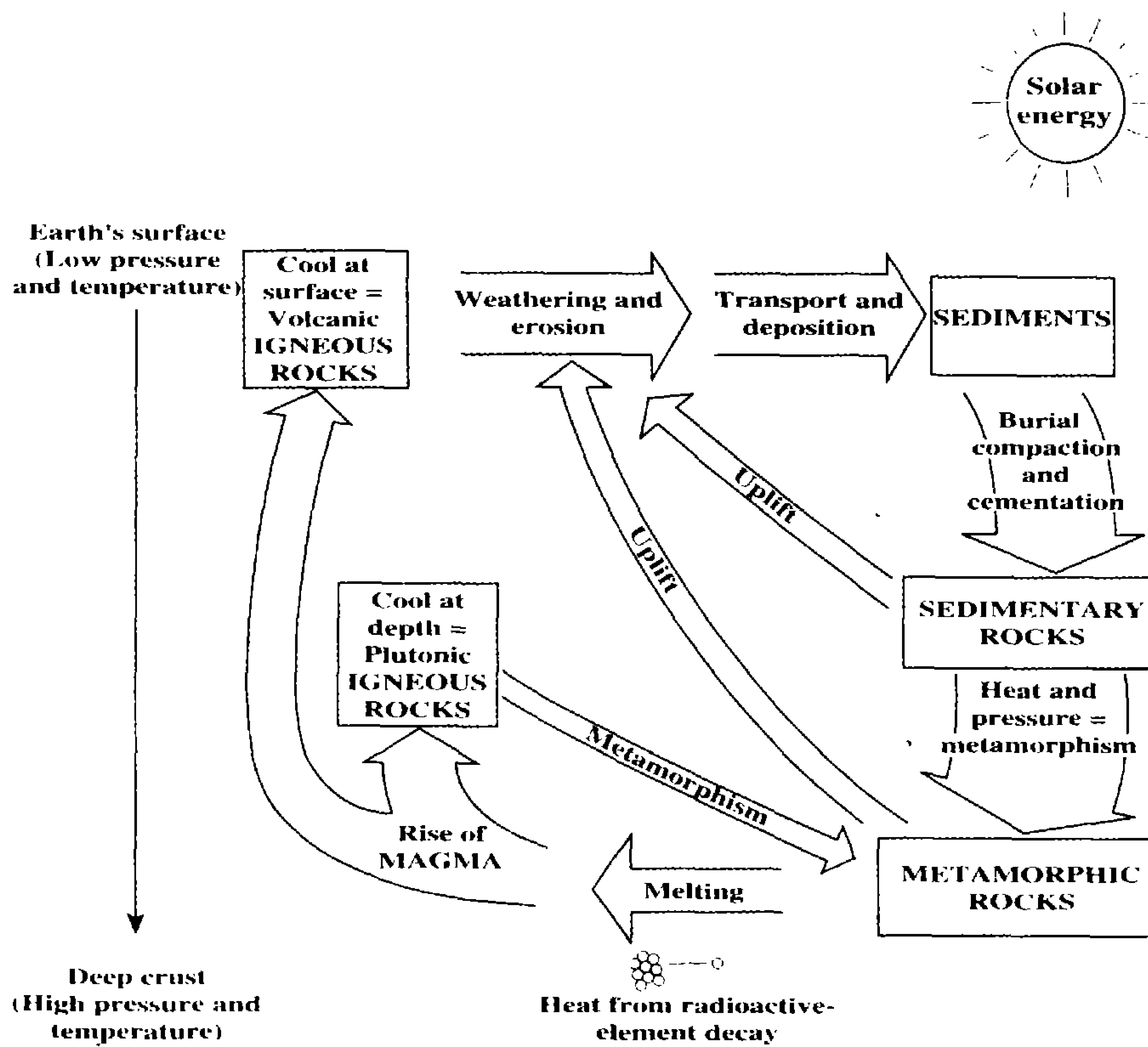
الشكل (١-١٤) الماء جزئ ثنائى الأقطاب يعرض جانبا سالبا وآخر موجبا. وهذه الثنائية القطبية تزيد من نشاط الماء.



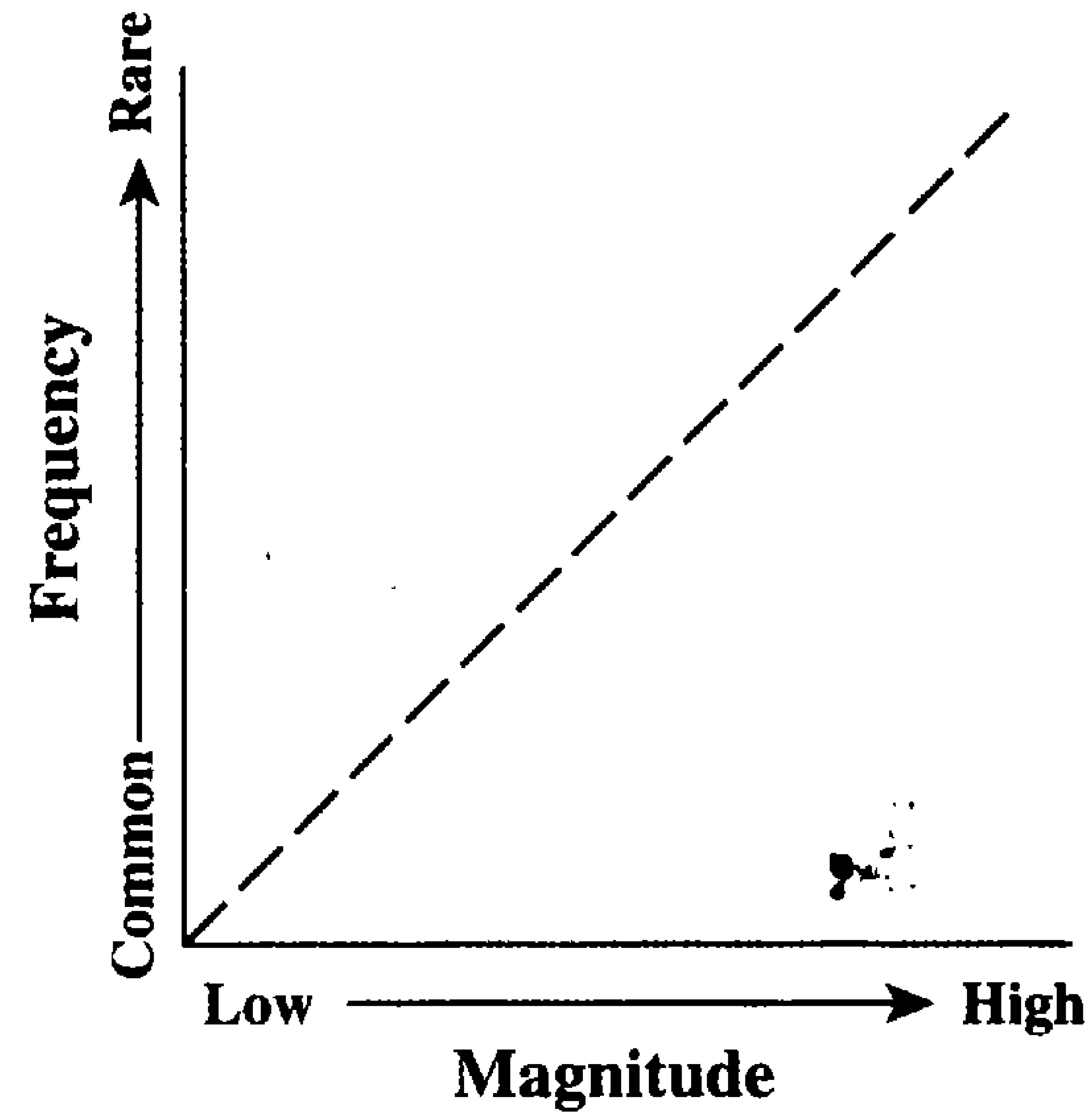
الشكل (١ - ١٥) يتسبب سَحْبُ الجاذبية للشمس والقمر في حركة المد على الأرض. ويحدث أكبر مَدَى نهارى للمد عند طلوع القمر (الهلال) وعند استكماله (البدر)؛ بينما يبلغ المدى النهارى للمد أدناه فى الربعين الأول والثالث للقمر (الجذر المحاقى).



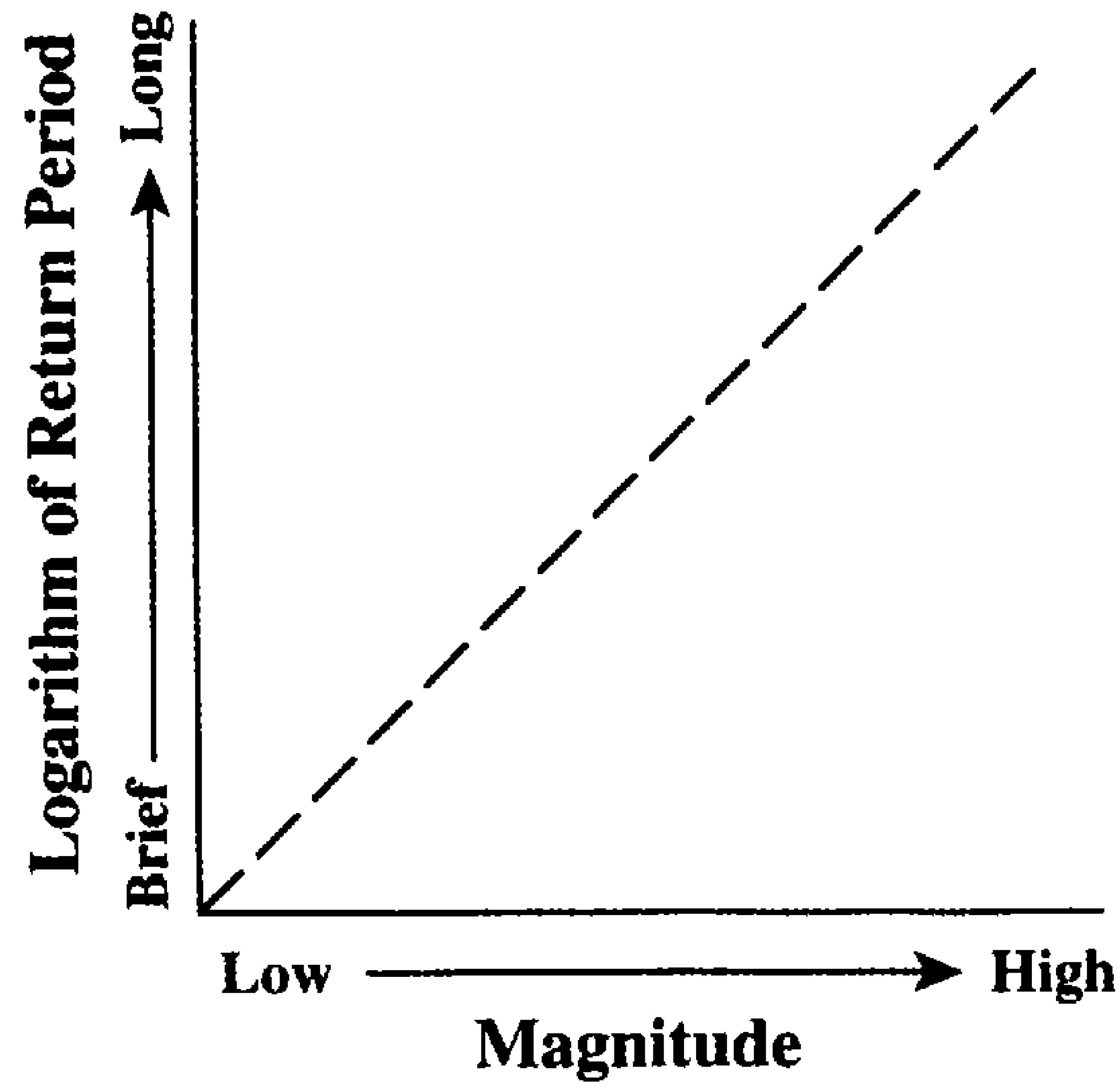
الشكل (١ – ١٦) دورات ومدارات نظام الأرض والقمر والشمس تولّد كميات هائلة من الطاقة.



الشكل (١- ١٧) دورة الصخور. تبرد الصهارة وتتجمد لتشكل صخورا نارية. وتتكسر الصخور المعرَّضة على سطح الأرض وتتحلل إلى رواسب (مثل الحصى والرمل والصلصال) حيث تنقل وتترسب لتصبح صخورا رسوبية. وبزيادة الدفن فى العمق تتزايد الحرارة والضغط فيحدث تغيير أو تحول فى الصخور لتصير صخورا متحولة.



الشكل (١-١٨) العلاقة بين قوة الكارثة ومدى تكرارها؛ فكلما عظمت الكارثة، ندر حدوثها.



الشكل (١-١٩) العلاقة بين قوة الكارثة وفترة الترقب؛ فكلما عظمت الكارثة، طالت مدة ترقبها.

جداول الفصل الأول

الجدول (١-١) أشد ١٥ كارثة طبيعية إحداثا للوفيات فى عام ١٩٩٩

Fatalities	Date/Start	Event	Country
50,000	15 Dec	Floods and mudflows	Venezuela
19,118	17 Aug	Earthquake (Izmit)	Turkey
15,000	29 Oct	Hurricane (Orissa)	India
3,400	20 Sep	Earthquake (Nantou)	Taiwan
1,300	3 Oct	Floods and landslides	Mexico
1,185	25 Jan	Earthquake (Quindio)	Colombia
834	12 Nov	Earthquake (Duzce)	Turkey
751	20 May	Hurricane	Pakistan/India
725	16 Jun	Floods (Yangtze River)	China
662	25 Oct	Floods	Vietnam
411	6 Aug	Floods (West Bengal)	India
307	12 Jul	Floods (Andhra Pradesh)	India
275	31 Dec	Cold wave	India
265	30 Jul	Floods	Philippines
224	15 Jul	Heat wave in east	U.S.A.
94,457 Total			

الجدول (١-٢) بعض العناصر النشيطة الإشعاع فى الأرض

Parent	Decay Product	Half-Life (billion years)
Aluminum-26	Magnesium-26	0.00072 (720,000 years)
Uranium-235	Lead-207	0.71
Potassium-40	Argon-40	1.3
Uranium-238	Lead-206	4.5
Thorium-232	Lead-208	14
Rubidium-87	Strontium-87	47
Samarium-147	Neodymium-147	106

الجدول (١-٣) تدفق القوى من الأرض وإليها

$\times 10^{12}$ **Joules per Second**		
Solar radiation	173,410	
Direct reflection		52,000
Direct conversion to heat		81,000
Evaporation		40,000
Water transport in oceans and atmosphere		370
Photosynthesis		40
Heat flow from interior	32.3	
General heat flow by conduction		32
Volcanoes and hot springs		0.3
Tidal energy	3	

الجدول (١-٤) التوزيع النسبى للماء على الأرض ممثلة ببرميل سعته ٥٥ جالون

World ocean	53 gallons,	1 quart,	1 pint,	3	ounces
Glaciers	1 gallon,	—	—	12	—
Groundwater	—	1 quart,	—	11.4	—
Atmosphere	—	—	1 pint,	4.5	—
Freshwater lakes	—	—	—	0.5	—
Saline lakes, inland seas	—	—	—	0.34	—
Soil moisture	—	—	—	0.25	—
Rivers	—	—	—	0.01	—

الجدول (١-٥) الوفيات بسبب الكوارث الطبيعية فى المدة من ١٩٤٧ حتى ١٩٨٠

	Earthquake	Tsunami	Volcanic Eruption	Flood	Hurricane	Tornado	Other Severe Weather	Landslide/ Avalanche	*Life Loss Totals by Geographic Area*
Number of Killing Events	**180**	**7**	**18**	**333**	**210**	**119**	**147**	**45**	
North America	77	60	96	1,633	1,997	4,568	5,003	323	13,757
Caribbean and Central America	30,613	—	151	2,575	16,541	26	510	260	50,676
South America	38,837	—	440	4,396	—	—	340	5,262	49,275
Europe	7,750	—	2,000	11,199	250	39	6,816	640	28,694
Asia	354,521	4,459	2,805	170,664	478,574	4,308	34,403	4,356	1,054,090
Africa	18,232	—	—	3,891	864	548	5	—	23,540
Oceania	18	—	4,000	77	290	—	117	—	4,502
Life loss totals by Earth process	450,048	5,519	9,492	194,435	498,516	9,489	47,194	10,841	Life loss total = 1,225,534

Source: Data from Shah (1983).

الجدول (١-٦) ٤٠ كارثة من أشد الكوارث فتكا للبشر في المدة من ١٩٧٠ حتى ١٩٩٩

Fatalities	Date/Start	Event	Country
300,000	14 Nov 1970	Hurricane	Bangladesh
250,000	28 Jul 1976	Earthquake (Tangshan)	China
165,000	26 April 1986	Nuclear power plant accident	Ukraine
140,000	29 Apr 1991	Hurricane Gorky	Bangladesh
60,000	31 May 1970	Earthquake and landslide (Nevados Huascaran)	Peru
50,000	15 Dec 1999	Flooding and mudslides	Venezuela
50,000	21 Jun 1990	Earthquake (Gilan)	Iran
25,000	7 Dec 1988	Earthquake	Armenia
25,000	16 Sep 1978	Earthquake (Tabas)	Iran
23,000	13 Nov 1985	Volcanic eruption and mudflows (Nevado del Ruiz)	Colombia
22,000	4 Feb 1976	Earthquake	Guatemala
19,118	17 Aug 1999	Earthquake (Izmit)	Turkey
15,000	19 Sep 1985	Earthquake (Mexico City)	Mexico
15,000	11 Aug 1979	Dam failure (Morvi)	India
15,000	1 Sep 1978	Flood (Monsoon rains in north)	India
15,000	29 Oct 1999	Hurricane (Orissa)	India
10,800	31 Oct 1971	Flood	India
10,000	25 May 1985	Hurricane	Bangladesh
10,000	20 Nov 1977	Hurricane (Andhra Pradesh)	India
9,500	30 Sep 1993	Earthquake (Marashtra state)	India
9,000	22 Oct 1998	Hurricane Mitch	Honduras
8,000	16 Aug 1976	Earthquake (Mindanao)	Philippines
6,425	17 Jan 1995	Earthquake (Kobe)	Japan
6,304	5 Nov 1991	Typhoons Thelma and Uring	Philippines
5,300	28 Dec 1974	Earthquake	Pakistan
5,000	10 Apr 1972	Earthquake (Fars)	Iran
5,000	23 Dec 1972	Earthquake (Managua)	Nicaragua
5,000	30 Jun 1976	Earthquake (West Irian)	Indonesia
4,800	23 Nov 1980	Earthquake (Campagna)	Italy
4,500	10 Oct 1980	Earthquake (El Asnam)	Algeria
4,375	21 Dec 1987	Boat collision	Philippines
4,000	15 Feb 1972	Storm; snow	Iran
4,000	24 Nov 1976	Earthquake (Van)	Turkey
4,000	30 May 1998	Earthquake (Takhar)	Afghanistan
3,840	1 Nov 1997	Hurricane Linda	Vietnam
3,800	8 Sep 1992	Floods (Punjab)	Pakistan
3,656	1 Jul 1998	Flood (Yangtze River)	China
3,400	20 Sep 1999	Earthquake (Nantou)	Taiwan
3,200	16 Apr 1978	Hurricane	Reunion
3,000	1 Aug 1988	Flood	Bangladesh
1,326,018 total			

الجدول (١-٧) ٤٠ كارثة من أشد الكوارث خسارة للتأمينات في المدة من ١٩٧٠ حتى ١٩٩٩

Losses in Millions of 1999 U.S. $	Fatalities	Date/Start	Event	Country
19,068	38	24 Aug 1992	Hurricane Andrew	USA
14,122	60	17 Jan 1994	Earthquake (Northridge)	USA
6,906	51	27 Sep 1991	Typhoon Mireille	Japan
5,882	95	25 Jan 1990	Winter Storm Daria	Europe
5,664	61	15 Sep 1989	Hurricane Hugo	USA
4,528	63	17 Oct 1989	Earthquake (Loma Prieta)	USA
4,500	80	25 Dec 1999	Winter Storm Lothar	Europe
4,415	13	15 Oct 1987	Storm	Europe
4,088	64	26 Feb 1990	Winter Storm Vivian	Europe
3,622	600	20 Sep 1998	Hurricane Georges	USA, Caribbean
2,980	26	22 Sep 1999	Typhoon Bart	Japan
2,831	167	6 Jul 1988	Explosion on Piper Alpha offshore oil rig	UK
2,716	6,425	17 Jan 1995	Earthquake (Kobe)	Japan
2,360	70	10 Sep 1999	Hurricane Floyd	USA & Bahamas
2,307	59	4 Oct 1995	Hurricane Opal	USA
2,200	45	27 Dec 1999	Winter Storm Martin	France
2,027	246	10 Mar 1993	Storm (East Coast)	USA
2,000	19,118	17 Aug 1999	Earthquake	Turkey
1,909	41	11 Sep 1992	Hurricane Iniki	USA
1,789	23	23 Oct 1989	Explosion at Phillips Petroleum	USA
1,733	—	12 Sep 1979	Hurricane Frederic	USA
1,708	39	5 Sep 1996	Hurricane Fran	USA
1,696	2,000	18 Sep 1974	Hurricane Fifi	Honduras
1,648	116	3 Sep 1995	Hurricane Luis	Caribbean
1,575	350	12 Sep 1988	Hurricane Gilbert	Jamaica
1,485	54	3 May 1999	Tornadoes	USA
1,477	500	17 Dec 1983	Storms (snow/frost)	USA
1,476	26	20 Oct 1991	Fire—into urban area, drought	USA
1,461	350	2 Apr 1974	Tornadoes in 14 states	USA
1,398	31	4 Aug 1970	Hurricane Celia	USA
1,393	—	25 Apr 1973	Flood (Mississippi River)	USA
1,380	—	15 May 1998	Tornadoes	USA
1,305	12	19 Sep 1998	Typhoon Vicki	Japan
1,263	46	5 Jan 1998	Ice storm	Canada/USA
1,247	21	5 May 1995	Storm (wind, hail, floods)	USA
1,198	100	2 Jan 1976	Storms (over Northwest)	Europe
1,133	20	17 Aug 1983	Hurricane Alicia	USA
1,100	3	26 Oct 1993	Fire—into urban areas	USA
1,099	40	21 Jan 1995	Storms and flooding in North	Europe
1,067	28	3 Feb 1990	Winter Storm Herta	Europe
$123.756 billion	31,081 total			

مراجع الفصل الأول

Suggested Readings and References نصوص ومراجع مقترحة

Alexander, D. (1993). *Natural Disasters.* New York: Chapman & Hall.

Calder, N. (1972). *The Restless Earth.* New York: Viking Press.

Cowan, G. A. (1976, July). A natural fission reactor. *Scientific American,* 36–47.

Dalrymple, G. B. (1991). *The Age of the Earth.* Palo Alto, CA: Stanford University Press.

Hubbert, M. K. (1971, September). The energy resources of the Earth. *Scientific American,* 225, 61–70.

Levin, H. L. (1996). *The Earth through Time* (5th ed.). New York: Saunders College.

Menard, H. W. (1974). *Geology, Resources, and Society.* New York: W. H. Freeman.

National Research Council. (1986). *Global Change in the Geosphere-Biosphere.* Washington, D.C.: National Academy Press.

Press, F., and Siever, R. (1986). *Earth* (4th ed.). New York: W. H. Freeman.

Schmidt, V. A. (1986). *Planet Earth and the New Geoscience.* Dubuque, IA: Kendall/Hunt. (See also the seven-part television series "Planet Earth.")

Shah, B. V. (1983). Is the environment becoming more hazardous? *Disasters,* 7, 202–209.

Skinner, B. J., and Porter, S. C. (1987). *Physical Geology.* New York: John Wiley and Sons.

Van Andel, T. H. (1994). *New Views on an Old Planet* (2nd ed.). New York: Cambridge University Press.

Zanetti, A., and Enz, R. (2000). Natural catastrophes and major losses in 1999. *Sigma No. 2,* Swiss Reinsurance Company.

Videos الفيديو

The Earth Revealed—Geologic Time. (1992). Annenberg/CPB Project (30 min.).

Geologic Time. (1986). Encyclopedia Britannica/American Geological Institute (24 min.).

The Earth Has a History. (1988). Geological Society of America (20 min.).

The Miracle Planet—The Heat Within. (1987). Nova/KCST (60 min.).

الفصل الثانى

الألواح التكتونية والزلازل

ورب أجزاء ظاهرية من الكرة الأرضية تبدو لى وكأنها لم تكن لتحدث بالمرة لو كانت الأرض فى قلبها صلبة جامدة، وحينئذ سوف أتخيل أنها سائلة مكثفة ولها كثافة نوعية، وكثير من الجاذبية أعلى من كل مادة نعرفها أو نراها، لذلك فهى تطفو على سوائل سرمدية وسطح الكرة الأرضية هو قشرة خارجية قابلة لأن تنكسر وأن تضطرب فى قوة، بفعل ما تحتها من سوائل وما تأتيه من حركة.

بنيامين فرانكلين، ١٧٨٠

الزلازل تدمر مساكننا وتقتلنا (الشكل ٢-١). ونبدأ فى وقاية أنفسنا منها بمعرفة كيف تدور الأرض. فحركة كوكبنا ونشاطه لا يمكن إدراكهما تماما حتى نفهم كيف تنوعت الأرض فى سلسلة من الطبقات الطافية وكيف تتحرك طبقة الصخور الخارجية فى عملية الألواح التكتونية.

تاريخ الأرض

مفهومنا الحالى عن أصل الأرض أنها كتلة ملتحمة من الأتربة والجسيمات الأكبر تدور حول الشمس منذ حوالى ٤,٦ بليون سنة. وارتفعت حرارتها الداخلية فى

أول عدة مئات من ملايين السنين أثناء التحام تلك الجسيمات وبعدها بسبب ارتطام الكويكبات وسَحب الجاذبية وخمود العناصر النشيطة الإشعاع. وفى ذلك الوقت كانت الأرض تشبه قِدْرًا يغلى. وظلت الحرارة تتزايد حتى بلغت الدرجة الحاسمة التى يسيل عندها الحديد. وحينئذ سحبت الجاذبية الحديد السائل إلى الداخل لتشكل اللب المعدنى. وأطلقت عملية تشكيل اللب طاقة الجاذبية وكثيرا جدا من الحرارة، أدت بدورها إلى كثير من الانصهار على نطاق واسع. وارتفعت المواد ذات الكثافة المنخفضة (مثل الصهارة والماء والغازات) التى تحررت بعد الانصهار وتراكمت على سطح الأرض على شكل قارات ومحيطات وغلاف جوى. ونعلم أن المحيطات الضخمة والقارات الصغيرة نشأت منذ ٣,٩ بليون سنة؛ وأن الحياة وجدت على شكل بكتيريا بالتمثيل الضوئى منذ ٣,٥ بليون سنة؛ وأن القارات الكبيرة وُجِدَت منذ ٢,٥ بليون سنة؛ وأن الطبقات الخارجية للأرض نَشطت بعملية الألواح التكتونية قبل ما لا يقل عن ١,٥ بليون سنة.

ويقارن نيجل كالدير فى كتابه **الأرض التى لا تهدأ** تاريخ الأرض مجازيا بتاريخ حياة امرأة عمرها ٤٦ سنة. ففى هذا المجاز يقَدر عمر كل من الأم والأرض بمائة مليون سنة من الزمن الجيولوجى. فالسنوات السبع الأولى ضاعت كلها بين يدى عالم الأحياء. والسجل الصخرى للأرض يتشوه مثل ذاكرة الإنسان؛ فهو يؤكد آخر الأحداث بالأرقام وبالوضوح. ومعظم ما نعرف عن الأرض الأم حدث فى الأيام الستة الماضية من حياتها. فقاراتها ظلت صغيرة فى العمر حتى بلغت ٤٢ سنة. ولم تظهر النباتات المزهرة حتى بلغت الخامسة والأربعين. وحيوانها المدلل الديناصور مات منذ ثمانية شهور. وفى منتصف الأسبوع الماضى، تطور بعض الأسلاف من القرود إلى أسلاف بشرية. وبالأمس تطور الإنسان الحديث(*) وبدأ يصطاد الحيوانات الأخرى، وفى الساعة الأخيرة اكتشف الزراعة واستقر. ومنذ خمسين دقيقة قاد موسى (عليه السلام) قومه إلى بر الأمان. وبعده بخمس دقائق ألقى عيسى (عليه السلام) مواعظه على طول خط الصدع ذاته. وفى الدقيقة الأخيرة بدأت الثورة الصناعية وزادت أعداد البشر زيادة هائلة.

(*) الإنسان Homo sapiens بوصفه نوعا بيولوجيا. (**المورد**- المترجم)

الأرض ذات الطبقات

الأرض اليوم نتاج أكثر من ٤,٥ بليون سنة من التخليق فى طبقات مختلفة الكثافات. وسُحبت إلى المركز كثير من المواد الكثيفة وتسربت إلى السطح بعض المواد الأقل كثافة (الشكل ٢-٢). ففى مركز الأرض يوجد لب غنى بالحديد يبلغ قطره حوالى ٧٠٠٠ كم (٤٣٥٠ ميلا). وقطر اللب الداخلى ٢٤٥٠ كم (١٥٢٠ ميلا) وهو كتلة صلبة تصل درجة حرارتها إلى أكثر من ٤٣٠٠ درجة مئوية (٧٧٧٠ درجة فهرنهايتية). واللب الخارجى سائل فى معظمه، وتعتبر حركته اللزجة بخاصية الحمل الحرارى مسئولة عن توليد المجال المغنطيسى للأرض. واللب الغنى بالحديد كله يماثل تقريبا فى التشكيل الكتلة السائلة من النيازك المعدنية. وأوضحت الدراسات الحديثة أن اللب الداخلى الصلب يدور فى نفس اتجاه الأرض المحيطة به بل أسرع منها. ويتحرك اللب الداخلى حوالى ٣ درجات أسرع كل سنة، بما يوحى بأنها تدور دورة زائدة كل حوالى ١٢٠سنة. ودارت المناقشات الحارة حول السبب فى الدوران الأسرع للب الداخلى ولكن يحتمل أن يكون بسبب الإبطاء الأقل بالاحتكاك المدِّى بالقمر. ويستغرق التباطؤ المدِّى وقتا للمرور خلال الأرض الدوارة، وخاصة بالنسبة للب الخارجى السائل، ولهذا يظل اللب الداخلى فى مقدمة السباق مع بقية كوكبنا.

ويغلف اللب وشاح صخرى(*) سميك، يبلغ سمكه حوالى ٢٩٠٠ كم (١٨٠٠ميل) ويشبه فى تكوينه الشهب الصخرية (الكوندريت)(**) والنيازك الصخرية. ويتكون الوشاح من ٨٣٪ من حجم الأرض و٦٧٪ من كتلتها. ويطفو فوق صخور الوشاح الساخنة الطافية قشرة حبيبية من صخور أقل كثافة وفوقها تقع المحيطات والغلاف الجوى.

(*) وشاح صخرى mantle rock، النطاق الأعلى من صخر المنطقة التى أثرت فيه المؤثرات الجوية فتفتت وتحلل وصار ما يسمى بالتربة وما تحت التربة. (**معجم الجيولوجيا**- المترجم)

(**) كوندريت chondrite: شهب أو أحجار سماوية صخرية تحتوى على كريات من المعادن السليكاتية والزجاج وفى العادة كميات ضئيلة من الحديد والنيكل. (**معجم الجيولوجيا**- المترجم)

والطبقة العليا من الوشاح البالغ سمكها ٧٠٠ كم (٤٣٥ ميلا) تقع فيها العناصر الخفيفة ولهذا تختلف عن الطبقة السفلى منه البالغ سمكها ٢٢٠٠ كم (١٣٦٥ ميلا). ويمكن معرفة أوجه الخلاف بالتقريب بإذابة نيزك كوندريت فى المعمل. فالإذابة تحدث فصلا ترتفع فيه الرغوة العليا للعناصر القليلة الكثافة فوق بقايا العناصر/ المعادن الأعلى كثافة. فالتخليق مشابه للقشرة القارية التى ترتفع فوق الطبقة العليا من الوشاح بالإذابة والفصل. ونتيجة لكل سنوات تدفق الحرارة إلى سطح الأرض نز كثير من العناصر المنخفضة الكثافة لتشكل القشرة القارية. واليوم تشكل القارات ١,٠٪ فقط من حجم الأرض.

وبالمفهوم الواسع، يمكن اعتبار أن الأرض ليست كرة صلبة متجانسة؛ ولكنها سلسلة من الطبقات الطافية؛ حيث تقع المواد الأقل كثافة على التوالى فوق الطبقات ذات المواد الأعلى كثافة. ويدعم اللب ذو الكثافة ١٦جم/سم^{٣} الوشاح ذا الكثافة من ٥,٧ حتى ٣,٣جم/سم^{٣}. وتطفو القارات ذات الكثافة ٢,٧جم/سم^{٣} فوق الوشاح الأعلى كثافة؛ وهى التى بدورها تدعم المحيطات المالحة ذات الكثافة حوالى ٠٣,١جم/سم^{٣}؛ وأخيرا الطبقة الأولى الأقل كثافة من الجميع وهى الغلاف الجوى. وتسرى فكرة الطبقات الطافية تماما على المستويات الصغرى كذلك. فمثلا، تتكون المحيطات من كتل من الطبقات ذات الكثافات المختلفة. فماء المنطقة القطبية الجنوبية الشديد البرودة والكثيف يتدفق على طول قيعان المحيط ويغطيه ماء المنطقة القطبية الشمالية البارد الذى يغطيه ماء أكثر ملوحة والذى يغطيه بدوره ماء البحر الأدفأ والأقل كثافة. فالأرض مشكَّلة بأكملها من اللب حتى الغلاف الجوى من طبقات متراصفة بالكثافة.

توازن القشرة الأرضية

ويمكن وصف الأرض المتطابقة على أنها: (١) انفصال مبنى على كثافات مختلفة بسبب اختلاف التركيب المعدنى والكيميائى ، أو (٢) طبقات ذات قوى مختلفة (الشكل ٢-٢). وتزداد باستمرار كل من الحرارة والضغط من السطح حتى اللب،

ولكن تأثيراتها على المواد مختلفة. فالحرارة المتزايدة تسبب تمدد الصخور فى الحجم وتجعلها أقل كثافة وأكثر قدرة على التدفق تحت الضغط واستجابة للجاذبية. والضغط المتزايد يسبب نقصا فى الحجم وزيادة فى الكثافة والصلادة. تَخَيَّل طبقة القطران على سطح الأرض؛ ففى الأيام الباردة تصبح صلبة وهشة، ولكن فى الأيام الحارة يمكن أن تسيل كسائل لزج. وهناك تغيرات مماثلة فى النوع لهذا المظهر الطبيعى تحدد الطبقات المختلفة للأرض. والحقيقة من منظور الكوارث الطبيعية، ليست حدود القشرة والوشاح فى أهمية الحدود بين الغلاف الحجرى lithosphere(*) (وتعنى بالإغريقية القشرة الصخرية) حيث يتفوق الضغط على الحرارة، وبين غلاف الانسياب السائلى asthenosphere(**) (وتعنى بالإغريقية الغلاف الضعيف) حيث تتفوق الحرارة على الضغط (الشكل ٢-٣). والفرق بين القوة والخواص الميكانيكية بين حالتى الصلابة والسيولة هى المسئولة عن الزلازل والبراكين.

والفكرة عن الغاز والسائل والصلب معروفة. فالغاز سائل قابل للتمدد غير المحدد. والسائل مادة سائلة قابلة للتدفق ولها حجم محدد وشكل غير محدد. والصلب ثابت يقاوم الضغط وليس من السهل أن يغير شكله. وتأثير الزمن فى هذه التعاريف مفهوم ضمنا. فكل هذه التعاريف تصف الخواص فى زمن ثابت، ولكن ما هى الخواص عند النظر إليها بمقياس زمنى أطول؟ فبعض المواد الصلبة بالتحديد تتأثر بالضغط لمدة طويلة، ففى لحظة معينة تظل صلبة، ولكنها من الداخل تتشوه وتتدفق مثل السائل. والمثال الشائع هو الجليد فى المثلجة. فعندما تطرق المثلجة بالمطرقة تتكسر قطع غليظة هشة من الثلج. بينما تغير الذرات فى داخل المثلجة أوضاعها فى الثلج وتتحرك إلى أوضاع سفلية ذات الإجهاد الأقل. ولا تتوافق المثلجات فى أية

(*) الغلاف الحجرى lithosphere: القشرة الأرضية، وهى الجزء الخارجى الصلب من الأرض. (**معجم الجيولوجيا**- المترجم)

(**) غلاف الانسياب السائلى asthenosphere: الجزء الذى يلى القشرة الأرضية (وقد يعتبر جزءا من المحيط اليابس) وهو النطاق العميق من القشرة الأرضية وتوجد فيه الصخور فى حالة تسمح بالتأثر السريع بحركات الطى والتشوه. (**معجم الجيولوجيا**- المترجم)

لحظة زمنية مع فكرتنا عن السائل، ولكن بمضى الزمن تتدفق المثلجة على سطح التل كسائل لزوجة فوق العالية.

ونقدم مثالا آخر عن الملح الصخرى (كلوريد الصوديوم الشائع على مائدة الطعام). فعندما يقيد تدفق ماء البحر فى قاع المحيط ويسود التبخر يتبلور الملح الصخرى ويتراكم فى قاع المحيط. وعندما تدفن تدريجيا طبقات الملح تحت أكوام من الرواسب (الحصى والرمل والطين)، يتزايد كل من الضغط والحرارة. وعندما يصل سمك أكوام الرواسب العلوية ٤٥٠- ٦٠٠ متر (١٥٠٠ - ٢٠٠٠ قدم) يشكل وزنها ضغطا يتجاوز قوة الملح الصخرى فيتشوه داخليا ويتدفق. ونظرا إلى أن كثافة الملح الصخرى أقل من كثافة الرواسب التى تعلوه، فإن الملح يرتفع إلى أعلى بقوة الطفو، شاقا طريقه نحو السطح على شكل سدادة ملحية أو قبة مفترضة (الشكل ٢-٤). وتوجد قباب الملح فى مناطق كثيرة من العالم. فمثلا يوجد فى إقليم تكساس- لويزيانا طبقة سميكة من الملح تشكلت فى القاع السابق لخليج المكسيك القديم. وهذه الطبقة من الملح الآن مدفونة على عمق ١٠ كم (٦ ميل)، وقد دفعت إلى أعلى ٢٠٠ سدادة من الملح يصل قطر بعضها إلى ١١ كم (٧ أميال). وحتى أقوى الصخور وأصلدها تكتسب خاصية السيولة بفعل الوقت والحرارة العالية.

ونموذج الخاصية الميكانيكية الذى يطرحه الملح الصخرى يماثل نظيره الصخر فى غلاف الانسياب السائلى للأرض. فطبقة الصخر لَدِنَةٌ بمفهوم ويليام جيمس فى **مبادئ علم النفس** فى عام ١٨٩٠؛ حيث عرَّف كلمة plastic بأنها «حيازة لبنية ضعيفة ترضخ للتأثير، ولكنها قوية بحيث لا ترضخ على الفور». فقمة النطاق الانسيابى(*) تأتى إلى السطح عند سلسلة الأعراف البركانية للمحيط ولكنها تقع فى مناطق أخرى على عمق ١٠٠كم (حوالى ٦٠ ميلا) تحت السطح. ولها حدود متدرجة علوية وسفلية ويبلغ سمكها ٢٥٠ كم (١٥٥ ميلا). فما هى الآثار المترتبة على وجود هذا النطاق اللدن بالقرب من سطح الأرض؛ وهناك قدر كبير من تدفق الصخور فى النطاق الانسيابى

(*) النطاق الانسيابى asthenosphere أو الاستينوسفير، وهو النطاق العلوى فى وشاح الأرض حيث تسمح الحركات التشكيلية بالانضباط الأيزوستاتيكى. (**ما هى الجيولوجيا؟**- المترجم)

الذى يساعد على ارتفاع وانخفاض سطح الأرض. فالأرض مثلا تعرف عادة بأنها كرة، ولكنها ليست كذلك. وربما عُرِفَت الأرض بتعبير أدق بأنها مجسم ناقص مفلطح عند القطبين (حوالى ٣٠ كم أى ١٩ ميلا) ومنبعج عند خط الاستواء (حوالى ١٥ كم أى ٩ أميال). والأرض ليست من الصلادة ولا القوة بالقدر الكافى للدوران والحفاظ على شكلها الكروى. ولكن الأرض يتشوه شكلها استجابة لقوة الدوران.

ظهرت فكرة التوازن فى القرن التاسع عشر وتنطبق عليها مبادئ الطفو فى القارات القليلة الكثافة وسلاسل الجبال التى تطفو فى الواقع فوق الوشاح الأعلى كثافة والواقع تحتها. وكما يبرز جبل الجليد فوق سطح المحيط بينما تطفو معظم كتلته تحت سطح البحر، تبرز كذلك القارة العائمة، وفى الوقت ذاته تمتد جذورها السميكة أسفل منها (الشكل ٢-٣). ومن أمثلة تأثير الطفو أو مُعَامِل التوازن ما تحدد بالمساحة الدقيقة للريف قبل وبعد بناء سد هوفر على نهر كولورادو شرقى لاس فيجاس بولاية نيفادا (الشكل ٢-٥). ففى أول فبراير ١٩٣٥ بدأ حجز الماء فى بحيرة ميد. وبحلول عام ١٩٤١ احتجز ٢٤ مليون إيكر/ قدم من الماء مشكلا ثقلا وزنه ٤٠٠٠٠ مليون طن على مساحة ٢٣٢ ميلا مربعا. ورغم أن هذا الخزان مثير للإعجاب على المقياس البشرى، فما الأثر الذى تتخيله أن يكون أحدثه على كل الأرض؛ والحقيقة أنه خلال ١٥ سنة من ١٩٣٥ حتى ١٩٥٠ انخسف الإقليم المركزى تحت الخزان حوالى ١٧٥ ملليمترا (٩ بوصات) (الشكل ٢-٥)، فإجراء التخزين البسيط نسبيا أدى إلى ضبط توازنى تسبب فى هبوط المنطقة.

فما مقدار صلابة وثبات سطح الأرض التى نعيش عليها؟ هناك أمثلة بمقياس أكبر تزودنا بها طبقات الجليد الكبرى فى الماضى الجيولوجى القريب. فمنذ ٢٠٠٠٠ سنة كانت المثلجة القارية التى دفنت إقليم فنلندا - السويد يبلغ سمكها ٣ كم (٢ ميل). وانخفضت الأرض تحت هذا الثقل الكبير. ومنذ ١٠٠٠٠ سنة تراجعت طبقة الجليد وذابت وعاد الماء إلى المحيط. وارتد إلى أعلى الإقليم الذى ظل مدة طويلة مضغوطا بحمله من الجليد بعد أن تحرر منه عن طريق الضبط التوازنى. وفى الـ١٠٠٠٠ سنة الماضية ارتفعت المنطقة شمال شرقى ساحل السويد وغربى فنلندا بمقدار ٢٠٠ متر (٦٥٠ قدما). وهذه الحركة لأعلى ظهرت فى أثناء التنقيب عن إحدى المنشآت

فى ستكهولم فى السويد. إذ كشف العمال النقاب عن إحدى سفن الفايكينج التى غرقت فى الميناء ودفنت فى الطين. ورفعت السفينة إلى مستوى سطح البحر وهى مغطاة بغطاء من الطين، عندما ارتفعت منطقة الميناء أثناء حدوث الارتداد التوازنى. وتشير قياسات الجاذبية فى هذا الإقليم إلي أن شذوذا سلبيا يبشر بارتفاع توازنى آخر قدره ٢٠٠ متر (٦٥٠ قدما). وسيضيف هذا الارتفاع إضافة جديدة إلى أرض السويد وفنلندا ويقلل من حجم خليج بوثنيا الواقع بينهما.

حدثت بعض عمليات ارتفاع الأرض المبكرة بعد زوال طبقة الجليد بحركة مفاجئة مزقت سطح الأرض وأحدثت زلازل قوية. ففى شمالى السويد هناك تمزق أرضى طوله يبلغ ١٦٠ كم (١٠٠ ميل)، وجرفان متوازيان ارتفاعهما ١٥ مترا (٥٠ قدما). وكانت الصخور فى الإقليم قديمة وصلبة بما يوحى بأن التمزق يبلغ عمقه ٤٠ كيلومترا (٢٥ ميلا) وبأنها ولَّدت زلازل قدرتها ٨,٢ بمقياس ريختر.

والحركة العمودية للقشرة الأرضية الصلبة الطافية على النطاق الانسيابى اللدن توثقت جيدا. أضف حملا على سطح الأرض وقس ضبط الحركة إلى أسفل؛ ثم أزل الحمل وقس الارتفاع إلى أعلى. يتضح من ذلك أن سطح الأرض فى توازن دقيق. والنقطة التالية للمناقشة هى الحركة الأفقية بين القشرة الأرضية والنطاق الانسيابى، وهى التى تدخلنا فى عالم الألواح البانية (التكتونية).

الألواح البانية (التكتونية)

وإضافة مكونات الحركات الأفقية على الأرض تؤهلنا لفهم الدورة التكتونية(*). إذا نحينا جانبا التعقيدات اللحظية، أمكننا ببساطة شرح الدورة التكتونية فى النقاط التالية (الشكل ٢-٦). **أولا**: يندفع النطاق الانسيابى المنصهر إلى أعلى على شكل

(*) نظرية البناء اللوحى أو الصفائحى للأرض Plate tectonic theory: تبلورت فى صورتها النهائية فى عامى ١٩٦٧ و ١٩٦٨، وأمكن من خلالها تفسير العديد من الظواهر الجيولوجية وعلى رأسها الزلازل والبراكين. (سليمان، **الزلازل**- المترجم)

صهارة ثم يبرد ليشكل قاعا جديدا للمحيط/ القشرة الأرضية. **ثانيا**: تتحرك القشرة الأرضية الجديدة عرضيا ببطء بعيدا عن منطقة تشكيل قشرة المحيط فوق النطاق الانسيابى الذى يقع تحتها (انتشار قاع البحر). **ثالثا**: عندما يصطدم الطرف الأمامى للوح المتحرك من القشرة المحيطية بلوح آخر، فإن اللوح الأقدم والأبرد والأعلى كثافة ينضوى تحت اللوح الآخر وتسحبه الجاذبية عائدة إلى النطاق الانسيابى (الانضواء)، بينما يركب اللوح الأقل كثافة والأكثر طفوا. **وأخيرا**: يبدأ اللوح الغاطس فى النطاق الانسيابى فى الذوبان حتى يمتصه الوشاح وينتظر دوره فى جولة أخرى إلى سطح الأرض (الشكل ٢-٦). وتستغرق هذه الدورة لاستكمالها زمنا طويلا يزيد عن ٢٥٠ مليون سنة.

وتسمى الدورة الكبيرة المتكررة للقشرة الأرضية فى بضع مئات من الكيلومترات بالدورة التكتونية. فكلمة **tekton** تعنى بلغة المعمار الإغريقية «البناء»؛ وطَوَّرها علماء الجيولوجيا لتعنى البناء التكتونى الذى يشرح البناء الطبوغرافى (التضاريس) والتشوه والحركة فى طبقات الأرض الخارجية. فإذا طبقنا فكرة رائد الفضاء الجيولوجى فى الفضاء ونظرنا إلى الدورة التكتونية من تحتنا لرأينا أن القشرة الأرضية تنقسم إلى قطع تسمى الألواح (الشكل ٢-٧). ودراسة الحركات والتفاعلات لهذه الألواح تعرف بالألواح التكتونية. وربما تتباعد ألواح القشرة الأرضية (تباعد) أو تنزلق (قص) أو تصطدم (تقارب) ببعضها، وتكون مسئولة عن معظم الزلازل والثورات البركانية والجبال على الأرض.

وهناك طريقة أخرى لتصور الألواح التكتونية باستخدام بيضة مسلوقة جيدا كمجاز للأرض. فتعتبر القشرة الهشة للبيضة بمثابة القشرة الأرضية. والغشاء الداخلى الزلق الذى يحدد القشرة بمثابة النطاق الانسيابى، بينما يمثل بياض (زلال) البيضة بقية الوشاح، والصفار يمثل اللب. وقبل أن نأكل البيضة المسلوقة نكسر قشرتها الهشة إلى قطع تنزلق حولها عندما نحاول نزعها. وهذا النموذج الذى فى متناول اليد من القطع الهشة التى تتحرك فوق طبقة لينة يعتبر نموذجا مصغرا مماثلا للتفاعلات بين القشرة الأرضية والنطاق الانسيابى.

حاشية جانبية: المجال المغنطيسى للأرض

كل من يمسك ببوصلة ويشاهد إبرتها الحرة الحركة تشير إلى الشمال يدرك المجال المغنطيسى الذى يحيط بالأرض. والصينيون هم الذين اخترعوا البوصلة المغنطيسية وكانوا أول من استخدمها. وقاموا بدورهم بتعليمها للرحالة الأوروبيين فى القرن الرابع عشر الذين نقلوا هذه المعرفة إلى أوروبا حيث تطورت لتصبح أداة ملاحية ساعدت المكتشفين فى أواخر القرن الخامس عشر فى رحلاتهم الكشفية.

ويعمل المجال المغنطيسى للأرض كقضيب مغنطيسى عملاق موضوع فى لب الأرض بميل يبلغ ١١ درجة. ولا ينطبق القطب الشمالى الجغرافى على القطب المغنطيسى ولكن محور القطب المغنطيسى يظهر دائما بالقرب من محور الدوران. لاحظ فى الشكل (٢- ٨) أن ميل خطوط القوى المغنطيسية بالنسبة لسطح الأرض يختلف باختلاف خطوط العرض. فعند خط الاستواء المغنطيسى تتوازى خطوط القوى المغنطيسية مع سطح الأرض (يبلغ الانحراف صفرا). وعند القطبين الشمالى أو الجنوبى تزداد تدريجيا زاوية الانحراف حتى تصبح عمودية على السطح فى كلا القطبين الشمالى والجنوبى (الانحراف ٩٠ درجة). لاحظ أيضا أن خطوط القوى تميل إلى أسفل داخلة سطح الأرض بالقرب من القطب الشمالى وتميل إلى أعلى خارجة من سطح الأرض بالقرب من القطب الجنوبى.

والواقع أن باطن الأرض حار جدا بحيث لا يتحمل القضيب المغنطيسى التواجد فيه. إذ تزول المغنطيسية من الصخور بفعل الحرارة أعلى من ٥٥٠ درجة مئوية، بينما تقدر الحرارة فى لب الأرض بحوالى ٥٨٠٠ درجة مئوية (١٠٤٧٠ درجة فهرنهايتية). وأصل المجال المغنطيسى للأرض ناتج عن حركة السائل الغنى بالحديد فى اللب الخارجى التى تولد تيارات كهربائية تولِّد بدورها مجالا مغنطيسيا. والحديد السائل موصل جيد للكهرباء. والحديد السائل المتدفق حول اللب الداخلى الصلب دائم الحركة تلقائيا مستمدا طاقته من دوران الأرض ومن ظاهرة الحمل الحرارى للحرارة المنطلقة من تبلور المعادن على حدود اللب الداخلى والخارجى.

والنظرة الفاحصة للمجال المغنطيسى للأرض تبرز عدة مشكلات تنتظر الحل. فالمجال المغنطيسى المبسط الواضح فى الشكل (٢-٨) لا يوضح التعقيدات التى تحدث على مر السنين والقرون حيث يقوى ويضعف المجال المغنطيسى. هذا بالإضافة إلى أن القطب المغنطيسى يتحرك حول منطقة القطب الشمالى الجغرافى. ويحدث تغيير هائل جدا كل عدة آلاف أو عشرات من ملايين السنين فى المجال المغنطيسى: إذ تنعكس الأقطاب المغنطيسية. ففى العكس يغير المجال المغنطيسى اتجاهه من القطب الشمالى (الأمر الطبيعى) إلى القطب الجنوبى (الأمر المعكوس) أو بالعكس.

وبعد الانعكاس القادم سوف تشير بوصلتك اليدوية إلى منطقة القطب الجنوبى. وقد ترك التغير فى اتجاه المجال المغنطيسى بصماته فى الصخور، حيث يستطيع علماء المغنطيسية القديمة من الجيولوجيين قراءتها. فتاريخ المغنطيسية القديمة الذى تحتويه الصخور يزودنا بأهم دليل على انتشار قاع البحر؛ كما يمكننا من رسم مسارات القارات فى تحركها فى خطوط العرض المختلفة. أضف إلى هذا، أن سجل العكوسات المغنطيسية يزودنا ببيانات عن مقياس الزمن المغنطيسى، وهو مقياس الزمن الجيولوجى الثالث. (فمقياس الزمن الأول يستند على التسلسل غير المعكوس لحدوث الحفائر فى الصخور الرسوبية، ومقياس الزمن الثانى يوجد فى خمود العناصر المشعة).

تطور فكرة الألواح التكتونية

ظلت فكرة الإنسان عن الأرض محدودة نظرا لصغر حجمه وصغر المدى الذى يتحرك فيه بالمقارنة بحجم الأرض الضخم؛ فضلا عن قصر عمره بالمقارنة بعمر الأرض. وتبلغ الأرض من الضخامة والقدم ما جعل كثيرا من علماء الجيولوجيا والفلاسفة فى المئات القليلة من السنوات الماضية يبذلون جهودا مشتركة لجمع المزيد من الملاحظات اللازمة لفهم كيفية وأسباب حدوث التغيرات فى الأرض. بدأت أول نظرة فى الفكر الحديث بعد الاكتشافات الجغرافية الأوروبية فى أواخر القرنين الخامس عشر والسادس عشر بالخرائط التى رسمت أشكال ومواقع القارات والمحيطات المعروفة. وهذه الخرائط العالمية المبكرة أثارت الاهتمام بالإمكانات المتيسرة. فمثلا فى عام ١٦٢٠

ذكر الفيلسوف الإنجليزى فرانسيس بيكون أن هناك توافقا بين سواحل أمريكا الجنوبية وأفريقيا المطلة على المحيط الأطلنطى، واقترح أن هاتين القارتين كانتا فى يوم ما ملتصقتين. وفى أواخر القرن التاسع عشر عرض عالم الجيولوجيا الأسترالى إدوارد سويس أدلة عديدة تدعم فكرة قارة جوندوانالاند؛ وهى أم للقارات الجنوبية القديمة، تتكون من وحدة موحدة من قارات أمريكا الجنوبية وأفريقيا والقطبية الجنوبية وأستراليا والهند ونيوزيلندا التى انفصلت عن بعضها أخيرا. وجاء العالم الفلكى الألمانى ألفريد فيجنر فكان أول وأشهر من أعلن بصراحة تأييده المبكر لقضية انجراف القارات(*). ففى كتابه **أصل القارات والمحيطات** (١٩١٥) جمع فيه كل الأدلة المتيسرة مثل الصخور والحفائر والبناء الجيولوجى المتشابهة على الجانبين المتقابلين للمحيط الأطلنطى. واقترح أن كل القارات كانت موحدة فى قارة عملاقة تسمى بانجايا Pan-gaea؛ (وتعنى pan كل وgaea الأرض).

وأثارت نظرية فيجنر عن انجراف القارات كثيرا من النقد أكثر مما أثارت من القبول فى حياته. فلماذا لم تقبل فكرته على نطاق واسع؟ طرح فيجنر فكرته المثيرة للاهتمام والمدعمة جيدا بالمشاهدات والمنطق، ولكن آلياته عن انجراف القارات اعتبرت مستحيلة. وعندما عرض فيجنر الدليل على انجراف القارات واجه الجيولوجيين وعلماء طبيعة الأرض الذين حاولوا أن يتخيلوا كيف تنطلق قارة حرة وتنفصل عما تحتها من صخور حارثة ممرا فوقها. وبدا الأمر مستحيلا من الناحية الطبيعية (الفيزيائية). وحدث تطور فى الفكر عندما درست قيعان المحيطات وشرحت البيانات بالتفصيل عن تشكيل جديد لقاع البحر الذى ينفصل وينتشر ثم يستهلك بالانضواء(**). وعندما أصبح معلوما أن القشرة الأرضية تتحرر من النطاق الانسيابى وتتحرك عرضيا، أمكن اعتبار القارات الأصغر نسبيا فى الحجم والأقل فى الكثافة والمستقرة فى قشرة المحيط محمولة عليه كمسافر طارئ.

(*) فى سنة ١٩١٢ نشر فيجنر بحثا ضمنه فكرة زحف وانجراف القارات. (سليمان، **الزلازل**- المترجم)

(**) انضواء، خضوع Subduction: حركة تؤدى إلى نزول لوح ليثوسفيرى تحت لوح آخر. (**ما هى الجيولوجيا؟**- المترجم)

وفى منتصف الستينيات من القرن العشرين انتشر الدليل وبدت الآليات صادقة، بظهور نظرية الألواح التكتونية والاعتراف بها على نطاق واسع؛ فأعيد فيجنر إلى منزلته الرفيعة. ونما الفكر العلمى بإضافة بيانات جديدة، وتعدلت النظريات القديمة وظهرت نظريات جديدة. فالعلم ليس جامدا؛ فهو دائم النمو والتطور فى المعرفة التى تمخضت عن فهم أفضل لكيفية عمل الأرض.

ويندر فى المجال العلمى أن تجد اتفاقا واسع النطاق على نظرية شاملة مثل نظرية الألواح التكتونية. ولكن عندما انتشرت فكرة الحقل المغنطيسى للأرض الكامن فى صخور قاع البحر، اقتنع المشككون حول العالم بحدوث انتشار فى قاع البحر وبصلاحية نظرية الألواح التكتونية. وزادت صلاحية البيانات المغنطيسية القديمة بما يسمح لنا بفهم قصتها حتى تصبح الألواح التكتونية حقيقة واقعة.

مغنطة الصخور البركانية

تثور الحمم(*) من البركان وتتدفق خارجه على شكل كتلة تشبه اللوح ثم تتباطأ حتى تتوقف. وعندما تبرد الحمم تبدأ المعادن فى النمو على شكل بلورات. وبعض هذه البلورات التى تشكلت مبكرا تحتوى فى تركيبها على الحديد. وبعد أن تبرد الحمم إلى أقل من نقطة كورى– حوالى ٥٥٠ درجة مئوية – تتمغنط الذرات فى المعادن الحاملة للحديد فى اتجاه المجال المغنطيسى للأرض فى ذلك الزمان والمكان. فالذرات المتراصة فى البلورات الغنية بالحديد تعمل كأنها إبر مغنطيسية تشير إلى القطب المغنطيسى فى زمانها (وتقاس كزاوية انحراف أو زاوية اتجاه البوصلة)؛ كما تصبح ميالة للانحراف بنفس زاوية خطوط القوى فى المجال المغنطيسى (تقاس كانحراف أو ميل). وتم قياس المجالات المغنطيسية القديمة فى صخور عمرها ٣,٥ بليون سنة.

(*) اللابة lava: حمم من صهير الصخر تسيل من فوهة البركان، ويطلق أيضا على الصخر الصلب الناشئ عن تبرد هذه الحمم. (**معجم الجيولوجيا**– المترجم)

ويتوالى تراكم تدفقات الحمم على شكل سلاسل متراصفة من طبقات الصخور، ويمكن قياس اتجاه القطب المغنطيسى لكل طبقة من الصخور (الشكل ٢-٩). وكثير من الصخور البركانية كذلك تحتوى على معادن بها عناصر مشعة تسمح بتقدير عمر الصخر البركانى، أى منذ متى تصلبت تدفقات الحمم. وعندما ترصد هذه المعلومات سويا فى عمود رأسى، يظهر مقياس زمنى للقطبية المغنطيسية (الشكل ١-١٠). ومن الجدير بالذكر أن أزمنة انعكاس الأقطاب تبدو عشوائية. فليس هناك نموذج قابل للدراسة عن الأبعاد الزمنية التى اتجه فيها المجال المغنطيسى سواء إلى الشمال أو إلى الجنوب. والقوى التى تعكس اتجاه القطب للمجال المغنطيسى معرضة للتغيير فى تدفق السائل الغنى بالحديد فى اللب الخارجى. ولم تظهر الآلية المسببة للانعكاس فى أى فاصل زمنى تحدده الرياضيات.

نماذج للمغنطة فى قيعان البحار

منذ أواخر الأربعينيات فى القرن العشرين قامت سفينة أبحاث المحيطات وظواهرها بالعمل فى شبكة متقاطعة فى المحيط الأطلنطى وسحبت أجهزة قياس المغنطيسية لقياس المغنطيسية فى قاع البحر. وكلما زاد عدد الرحلات وحصلت على بيانات أكثر بدأت تظهر نماذج مدهشة (الشكل ٢-١١). فقاع المحيط الأطلنطى مخطط بنطاقات من الصخر المغنط التى توضح تبادل القطبين. والنموذج متناسق ومتواز مع سلسلة الأعراف البركانية فى منتصف المحيط (مركز الانتشار)(*). أى أن كل جزء مخطط من قاع البحر له جزء توأم فى الجانب الآخر من سلسلة أعراف منتصف المحيط.

(*) أعراف منتصف المحيطات mid-oceanic ridges: يطلق فقهاء علوم الأرض على مثل هذه المعالم الطبوغرافية اسم أعراف أو حيود منتصف المحيطات وهى أعراف أو حيود بسبب ارتفاعها الملحوظ عن مستوى قاع المحيط . (هميمى، **الزلازل**- المترجم)

وهناك علاقة جديرة بالملاحظة بين أزمنة انعكاس القطبية المغنطيسية، المقاسة بمقياس كثافة الطاقة الإشعاعية فى سلسلة من تدفقات الحمم المتصلبة (الشكل ٢-١٠)، واتساع قاع البحر المتعاقب القطبين- ويمكن مقارنتهما ببعضهما البعض. والشيء المدهش أن اتساع الخطوط الممغنطة بقاع البحر تحقق نفس النسبة لطول الأزمنة الواقعة بين العكوسات المتعاقبة للمجال المغنطيسى للأرض. وهذا يعنى أن المسافة المقاسة بالكيلومترات متناسبة مع الزمن المقاس بملايين السنين. والآن، إذا كان المجال المغنطيسى للأرض يعكس القطبين بمقياس زمنى معلوم، وإذا كان أعيد إظهار المقياس الزمنى بالمسافات، فإن العلاقة تأخذ شكل السرعة. أى أن الصهارة تحقن فى سلسلة أعراف المحيط حيث تطبع عليها بصمة المجال المغنطيسى للأرض عندما تبرد لتكون صخرا جديدا. وحينئذ فإن قاع البحر/ قشرة المحيط/ القشرة الأرضية تتباعد عن سلسلة أعراف منتصف المحيط وكأنها أجزاء من حزامى توصيل كبيرين يفترقان فى اتجاهين متضادين (الشكل ٢-١٢).

والدليل الذى أثبته مقياس الزمن المغنطيسى القديم وقاع البحر المخطط مغناطيسيا يفرضان نفسيهما بقوة. فهما دليلان مقنعان بأن انتشار قاع البحر يحدث فى الواقع وأن الألواح التكتونية نظرية صالحة. ولنبدأ الآن فى مناقشة أدلة أخرى تؤكد نظرية الألواح التكتونية.

أدلة أخرى على تكتونية الألواح

المراكز السطحية لبؤر الزلازل تحدد حواف الألواح

يمكن النظر إلى خريطة المراكز السطحية (النقط فوق المركز)(*) للزلازل (الشكل ٢-١٣) على أنها لغز توصيل النقاط. فكل مركز سطحى يمثل موقعا حدث فيه انزلاق

(*) النقطة فوق المركز epicenter: نقطة على سطح الأرض فوق بؤرة الزلزال مباشرة. (ما هى **الجيولوجيا؟**- المترجم)

لقسم كبير من الصخر على قسم آخر. خذ قلمك وأوصل النقاط (المراكز السطحية)، وبذلك تحدد حواف الألواح التكتونية، أجزاء القشرة الأرضية التى تتحرك منفصلة. وتذكر أن سمك هذه اللوحات يبلغ حوالى ١٠٠ كم (٦٠ ميلا).

سلاسل أعراف المحيطات والخنادق العميقة

تقع أعلى سلاسل جبال على الأرض فى قيعان المحيطات وتمتد إلى أكثر من ٦٥٫٠٠٠ كم (٤٠٫٠٠٠ ميل). وهذه الجبال البركانية تنسحب متباعدة عن بعضها فى مراكز الانتشار. ويبلغ متوسط عمق قاع المحيط ٣,٧ كم (٢,٣ ميلا)، ولكن توجد أعماق تزيد عن ١١ كم (٧ أميال تقريبا) فى الخنادق الضيقة الممتدة. والخنادق العميقة هى قمم للوحات المنضوية (الغاطسة) التى تنثنى لتدخل الوشاح من جديد.

الزلازل العميقة

تحدث الزلازل فى العمق عادة على طول الألواح المائلة المجاورة لخنادق المحيط العميقة (الشكل ٢-١٤). وهذه الزلازل العميقة تحدد الألواح المنضوية التى تنسحب بالقوة عائدة إلى الوشاح.

تقدير الأعمار من أحواض المحيطات

من الحقائق المذهلة التى اكتشفت أثناء الاستطلاع الحديث للمحيطات صغر سن أحواض المحيطات. فأقدم الصخور فى قيعان المحيطات تبلغ من العمر حوالى ٢٠٠ مليون سنة؛ أى أنها أقل بأكثر من ٥٪ من عمر الأرض. تذكر أن بعض صخور القارات يزيد عمرها عن ٤٠٠٠ مليون سنة. ويزيد عمر النيازك عن ٤٥٠٠ مليون سنة.

وبعض صخور القمر تزيد عن ٤٥٠٠ مليون سنة ولا يقل أصغرها سنا عن ٣١٠٠ مليون سنة.

ولكن أحواض المحيطات (وليس الماء فيها) وبعض محتوياتها من الأعراف البركانية والرواسب والحفائر أصغر من ذلك بكثير جدا. فلماذا؟ لأن أحواض المحيطات تضاريس صغيرة تتشكل وتتحطم باستمرار.

وعلى امتداد أعراف المحيط تنشط البراكين وتتشكل قشرة محيطية/ قاع بحر جديد (الشكل ٢-١٢). وإذا ابتعدنا عن الأعراف رأينا أن الصخور والجزر البركانية في قاع البحر تبدو أقدم تدريجيا. فأقدم صخور قاع البحر توجد عند حواف قيعان المحيطات.

وفي مواقع معينة تولِّد البقع الحارة(*) المستقرة في العمق صهارة ترتفع نظرا لقلة كثافتها؛ وهذه الريشات من صخر الوشاح الحار الطافي تمر إلى أعلى خلال الغلاف المتوسط(**) وتبدأ في الذوبان بالقرب من قمة النطاق الانسيابي الذي يعلوها وتنطلق إلى أعلى خلال القشرة الأرضية على شكل صهارة. وفوق البقع الحارة تثور براكين نشطة على سطح الأرض. وتقع البراكين على الألواح المتحركة التي تحملها بعيدا عن منبع بقعها الحارة. وهذه العملية تشكل خطوطا من براكين خامدة على قاع المحيط، متدرجة من الأحدث إلى الأقدم حسب اتجاه حركة اللوح (الشكل ٢-١٥). وبمعنى آخر، تتزايد أعمار البراكين السابقة بزيادة المسافة بينها وبين البقعة الحارة.

وتتراوح طبقة الرواسب في قاع البحر من الرقيقة جدا إلى لا شيء عند سلسلة الأعراف البركانية ويتزايد سمكها في اتجاه حواف المحيطات (الشكل ٢-١٦). وكلما قدم قاع البحر، زاد الزمن الذي تتراكم فيه طبقة سميكة من الرمل والملح والصلصال والحفائر.

(*) نقطة (أو بقعة) ساخنة hot spot: منطقة انصهار محدودة في الوشاح قرب قاعدة الليثوسفير. (**ما هي الجيولوجيا؟**- المترجم)

(**) الغلاف المتوسط mesosphere: طبقة قوية ثخينة مفروض وجودها بين الغلاف الضعيف واللب الحديدي المركزي. (**معجم الجيولوجيا**- المترجم)

زيادات نمطية فى أعماق قيعان البحار

وفوق سلسلة أعراف المحيط يكون عمق الماء ضحلا نسبيا. وعلى أية حال، كلما ابتعدنا تدريجيا عن سلسلة الأعراف يزداد عمق الماء بانتظام مع زيادة عمر قاع البحر (الشكل ٢-١٦). وهذا يرجع إلى: (١) برودة قشرة المحيط وما ينتج عنها من زيادة فى الكثافة، (٢) الهبوط التوازنى نتيجة ثقل وزن الرواسب المترسبة فى قاع البحر، (٣) إضافة المعادن العالية الكثافة إلى قاعدة لوحة القشرة الأرضية. ومن شأن العمق التدريجى فى قاع البحر مع الزيادة فى العمر كذلك أن يؤكد فكرة انتشار قاع البحر.

توافق القارات

إذا كانت القارات حقا تنجرف متباعدة فيمكننا الحصول على خريطة ونقطع القارات لكى نصنع منها لغزا بالقطع ثم نعيد تجميعها فى شكلها السابق. والواقع أن ذلك العمل يمكن تحقيقه إذا علمنا أين نقطع الخريطة. وفى خرائط العالم ذات البعدين تشغل اليابسة حوالى ٢٩٪ من سطح الأرض والباقى وقدره ٧١٪ تقريبا تشغله المحيطات. فإذا قطعنا أجزاء اللغز على خطوط السواحل الفاصلة بين اليابسة والماء ثم حاولنا تجميعها فلن يكون التوافق جيدا. وتقع المشكلة هنا فى أن الحد الحقيقى ليس بين اليابسة والماء، بل يقع بدلا من ذلك بين الحواف الحقيقية للقارات – الانتقال بين الصخور القارية القليلة الكثافة إلى الصخور المحيطية العالية الكثافة. وهذا الانتقال يحدث على عمق ١٨٠٠ متر (٦٠٠٠ قدم). فإذا أزلنا المحيطات وجدنا أن الكتل القارية تغطى ٤٠٪ من سطح الأرض وتغطى الأحواض المحيطية الأخرى ٦٠٪ الباقية. فإذا قطعنا أجزاء اللغز على خط على عمق ١٨٠٠متر، فإن أجزاء لغز القارات توافق بعضها تماما. وهناك بعض الثغرات والتغطيات التى تفسر منطقيا بتغيرات فى أثناء ٢٢٠ مليون سنة الأخيرة، منذ الانشطار الأخير الكبير للقارات. ومن أمثلة التغيرات، التشوه فى أثناء عملية الانشطار ونمو دالات الأنهار والبراكين وكتل الشعب المرجانية، وتحات القارات، وحركات الأرض.

وبإزالة آثار انتشار قاع البحر فى ٢٢٠ مليون سنة الأخيرة تعود قارات اليوم إلى وضعها فى القارة العملاقة بنجايا (الشكل ٢-١٧).

نظرية التوحد الكبير

يوضح الشكل (٢-١٨) جزءًا من العالم وكيف تعمل الطبقات الخارجية للأرض اليوم بعد ٢٢٠ مليون سنة فى الجولة الأخيرة من نشاط الألواح التكتونية. وترتفع الصهارة من باطن الأرض. ويؤدى تعاظم الصهارة والحرارة إلى اتساع وارتفاع التضاريس الطبوغرافية للقشرة العليا/ القارية التى تتكسر بسبب الارتفاع وتبدأ فى التباعد عرضيا بفعل الجاذبية. ويؤدى التباعد إلى تقليل الضغط علي صخور النطاق الانسيابى الفائق الحرارة الذى يسيل ويرتفع إلى أعلى ليملأ الشقوق ويبنى قشرة محيطية جديدة عن طريق انتشار قاع البحر. وباستمرار ارتفاع سلسلة الأعراف البركانية يتشكل موقع للجاذبية ويستمر سحب المواد إلى أسفل وإلى الخارج (الانتشار). وتساعد خلايا الحمل الحرارى فى الوشاح على الانتشار العرضى، حيث ترتفع الحرارة وتتحرك عرضيا تحت القشرة الأرضية قبل أن تهبط. وربما يولِّد تدفق الحرارة بالحمل الحرارى قوى ساحبة للألواح التى تعلوها. وعندما تنتشر القشرة الأرضية وتبرد وتصبح أعلى كثافة تنجذب بقوة أشد بفعل الجاذبية. وعندما يصطدم لوح القشرة المحيطية بلوح آخر ينضوى اللوح الأثقل والأكثف (والأقدم والأبرد) تحت اللوح الأخف (والأصغر والأدفأ) فى عملية الانضواء. وعندما تنضوى الحافة القائدة للوح المنضوى السلبى الطفو تزيد الجاذبية من قوة سحبها لتساعد على تمزق الحافة الخلفية للوح بعيدا عن مركز الانتشار. وتتجمع قوة حقن الصهارة فى مركز الانتشار (دفع سلسلة الأعراف) مع قوة سحب الجاذبية للوح الأكثف المنضوى فى منطقة الانضواء (سحب اللوح) بالإضافة إلى الحمل الحرارى فى الوشاح (سحب الوشاح) لتحافظ على استمرار حركة لوحات القشرة الأرضية. وبهذا تعمل الدورة التكتونية باستمرار، حيث يحفز كل جزء متحرك الأجزاء الأخرى على الحركة ويحافظ عليها فى

عملية إعادة الدورة على نطاق واسع ومدى زمنى طويل. وتتمثل (تهضم) المادة المكونة للوح المنضوى فى الوشاح، حيث تسيل وتنتظر دورها فى التدفق إلى أعلى نحو السطح لتتصلب كجزء من لوح جديد فى القشرة الأرضية. وصارت حركة الألواح الآن واضحة المعالم بسبب السجل المغنطيسى لصخور قاع البحر؛ إذ لم تحدد أبعاد الألواح فحسب؛ بل حددت كذلك معدلات حركاتها (الشكل ٢-٧).

وفكرة الألواح التكتونية واحدة من أعظم الأفكار العلمية فى جميع العصور؛ إذ زودتنا بأفكار جديدة عن الأرض تختلف تماما عما توصلنا إليه فى حياتنا أو فى خبرتنا التاريخية. ونظرا إلى أن الأرض أقدم بكثير وأوسع بكثير من الإنسان؛ فيجب علينا أن ننحى جانبا زمننا الشخصى ومقاييس حجمنا. فحياتنا تقاس بالعقود، ومقاييس أطوالنا الشخصية تقاس بمقياس من ٥ أقدام حتى ٦ ؛ وبهذه المراجع الإرشادية يحار فهمنا فى مقاييس الأرض. وعلى أية حال، إذا استبدلنا مفاهيمنا الزمنية بملايين ومليارات السنين ومقاييس أحجامنا بالقارات والألواح، فحينئذ فقط يبدأ فهمنا للأرض. فاللوح النشيط ربما يتحرك ١ سم (٠,٤ بوصة) فى السنة؛ أى ٧٥ سم (٣٠ بوصة) فى عمر الإنسان. فمعدل تحرك اللوح يقارن بمعدل نمو أظافر الإنسان.

ومن واقع عمر الإنسان، كيف يفسر المرء بناء الجبال أو تشكيل أحواض المحيطات؟ ربما يلوِّح المرء بذراعيه وينطق بعبارات فظة تعبيرا عن الاضطرابات الكارثية الكبيرة أو الغرق الجماعى والأحداث الخيالية التى تبلد الإحساس. ولكن عندما تقاس الأرض بمقاييسها الذاتية تصبح حركة سنتيمترا واحدا فى السنة عشرة كيلو مترات (أكثر من ٦ أميال) فى مليون سنة. وعملية السنتيمتر فى السنة تبلغ من السرعة ما يجعلها ترفع جبلا فى مدة صغيرة من الزمن الجيولوجى. ولكى نفهم كيف تعمل الأرض يجب أن نفكر فى التغيرات الصغيرة المتكررة التى تحدث فى مدد طويلة من الزمن لإنشاء تضاريس كبيرة مثل الجبال. وهذا النمط من التفكير يهدف إلى فهم القوانين الطبيعية والعمليات النشيطة على الأرض وفى باطنها اليوم، وإلى استخدام

هذه المعرفة لقراءة تاريخ الأرض المسجل فى الصخور والحفائر. وهذه الفكرة تسمى فكرة تماثل قوانين الطبيعة (نظرية الوتيرة الواحدة)(*).

الزلازل والألواح التكتونية

يمكن تفسير الغالبية العظمى من الزلازل استنادا إلى نظرية الألواح التكتونية. فالقشرة الأرضية تنقسم إلى ألواح صلبة تتحرك متباعدة أو متقاربة أو تنزلق عبر ألواح صلبة أخرى. وهذه العمليات التى تحدث على مستوى الأرض يمكن رؤيتها على الأرض على شكل صدوع فردية حيث تنشق الأرض ويتحرك كل جانب غبر الجانب المقابل محدثة الزلازل. والشكل ٢-١٩ يوضح لوحا تكتونيا نموذجيا ويقدر المخاطر المتنوعة للزلازل التى تتركز فى حواف اللوح:

١ - فحركة التباعد فى مراكز الانتشار تؤدى إلى وقوع الصخور تحت الإجهاد. فالصخور تتشقق بمجرد خضوعها للإجهاد. ولهذا تنتج عنها أساسا زلازل صغيرة لا تشكل خطرا كبيرا للإنسان.

٢ - وتحدث حركة الانزلاق عندما تتمزق الألواح الصلبة وتدور حول الأرض الكروية. وتنزلق الألواح مقابل بعضها البعض فى حركات أغلبها أفقيه فى الصدوع التحويلية (صدع محول)(**). وهذه العملية تنتج عنها زلازل كبيرة حيث حدود اللوح غير المنتظمة تؤخر الانزلاق بسبب عدم انتظام الحواف على طول الصدع. وتستنفد قدرا كبيرا من الطاقة المخزونة للتغلب على السطوح الخشنة والصخور غير المنزلقة والثنيات فى الصدوع. وعند التغلب نهائيا على هذه العوائق يتحرر جزء كبير من الطاقة الزلزالية.

(*) نظرية الوتيرة الواحدة، نظرية هاتون Uniformitarianism: الحاضر مفتاح للماضى، أى أننا يمكننا أن نفسر التاريخ الجيولوجى فى ضوء ما نعرفه عن الحاضر. (**ما هى الجيولوجيا؟**- المترجم)

(**) صدع محول transform fault: صدع انزلاقى مضربى (جانبى أو أفقى) يميز الحيود الوسط محيطية وعبره تتوازن الحيود (ربما عن طريق توسع قاع المحيط). (**ما هى الجيولوجيا؟**- المترجم)

٣ – وحركات التقارب التى تحدث عند نطاقات الانضواء وفى تصادم قارة بقارة تختزن مقادير هائلة من الطاقة التى تتحرر فى أكبر الزلازل التكتونية فى الأرض. وعمليات سحب الألواح المحيطية التى يبلغ سمكها ٧٠–١٠٠ كم (٤٥–٦٠ ميلا) إلى الوشاح فى نطاقات الانضواء أو عمليات تصادم القارات مع بعضها البعض– مثل ارتطام الهند بآسيا لترفع جبال هيملايا – تحتوى على طاقة هائلة لا تكاد تصدق. وينتج عن ذلك أكبر الزلازل فى الأرض.

ولننتقل الآن من اللوح النموذجى لنتفحص أحد الألواح الواقعية وهو لوح المحيط الهادى؛ إذ يوضح الشكل (٢–٢٠) نفس النموذج لعمليات حافة اللوح والزلازل المتوقعة. فتكون لوح المحيط الهادى عند مركز الانتشار على طول حوافه الشرقية والجنوبية. فالحركة فيها تحدث زلازل صغيرة تقع بعيدا عن المناطق الكبرى المأهولة بالسكان.

وتحدث حركات الانزلاق على طول الصدوع التحويلية: (١) فى شمال شرقى المحيط الهادى فى صدع كوين شارلوت، الواقع بالقرب من إقليم نادر السكان فى كندا، (٢) على طول صدع سان آندرياس فى كاليفورنيا بزلازله المشهورة، (٣) وفى الحافة الجنوبية الغربية للمحيط الهادى حيث يقطع صدع آلباين الجزيرة الجنوبية فى نيوزيلاند (الشكلان ٣–٥ و٣–٦).

وينضوى لوح المحيط الهادى على طول حوافه الشمالية والغربية محدثا زلازل هائلة، مثل حادث آلاسكا فى عام ١٩٦٤ وزلزال طوكيو فى ١٩٢٣، وزلزال نابير فى الجزيرة الشمالية فى نيوزيلاند.

ويتركز اهتمامنا هنا على فهم آثار حواف اللوح باعتبارها وسيلة للتنبوء بأماكن الزلازل المحتمل وقوعها وبأحجامها النسبية.

ملف الصور: الأرض كوكب نشيط

الأرض كوكب نشيط تغذيه مصادر متنوعة من الطاقة. وتحدث الكوارث الطبيعية حيث يعمل الإنسان وتقع مبانيه فى طريق القوى التى تحركها الطاقة.

وتتدفق الطاقة من باطن الأرض ومن الشمس ومن الجاذبية ومن الارتطام بمذنبات وكويكبات أخرى.

ويحتفظ باطن الأرض بمخزون هائل من الحرارة الناجمة عن الارتطامات الأولية التى شكلت كوكبنا هذا، ومن الحرارة المنبعثة عن الخمود الجارى للعناصر المشعة. وتتدفق الحرارة من باطن الأرض إلى سطحها وتغذى الثورات البركانية والزلازل بالطاقة.

والطاقة الخارجية تستمدها من الشمس. وحوالى ٢٣٪ من أشعة الشمس القادمة إلى الأرض تستخدم فى تبخير ورفع الماء إلى الغلاف الجوى لكى تبدأ الدورة المائية. وهذه الأبخرة تعود على شكل ثلج ومطر وتؤدى إلى حدوث المثالج والأنهار والفيضانات كذلك. وحرارة المحيطات والغلاف الجوى غير المتوازنة عند قطبى الأرض ومقابل خط الاستواء تؤدى إلى اختلاف فى كثافة الماء والهواء اللذين تؤثر فيهما الجاذبية فيؤثران بالتالى على الطقس شاملا العواصف والرياح العنيفة وأمواج المحيطات. وتُخْتَزَن كذلك الطاقة الشمسية فى أنسجة النباتات لتتحرر منها عند الحريق.

وتجتذب الجاذبية كل شىء - كتل الهواء وماء المحيط والأنهار والمثالج وانزلاقات التلول الثلجية والأرضية.

وترتطم المذنبات والكويكبات آلتى تدور فى مداراتها بسرعة تزيد عن ٣٠,٠٠٠ كم/ساعة أحيانا بالأرض، ولارتطامها العميق آثار على الكرة الأرضية.

(انظر االصور من ١ إلى ١٢ ص 145 إلى 156).

الزلازل ومراكز الانتشار

كشف البحث عن مواقع المراكز السطحية حول الأرض (الشكل ٢-١٣) عن أن الزلازل ليست شائعة بالقرب من مراكز الانتشار بقدر شيوعها عند الصدوع التحويلية

وعند مناطق الانضواء/ التصادم. فالكتل المتضخمة من الصخور الدافئة فى منظومات سلاسل أعراف المحيطات تحتوى على حرارة أعلى وبالتالى تقل صلادتها. وهذه الحرارة التى تضعف الصخور لا تزيد أو تختزن الإجهادات الضخمة اللازمة لإحداث زلزال كبير.

آيسلاند

ويمكن تقدير نموذج لزلازل مراكز الانتشار إذا نظرنا إلى تاريخ الزلازل فى آيسلاند، الدولة التى تعيش منعزلة فوق جزيرة بركانية تغذيها البقع الحارة فى جزء من مركز انتشار سلسلة أعراف منتصف المحيط الأطلنطى (الشكلان ٢-٢١ و٢-٢٢). وأفاد عالم الجيولوجيا الآيسلاندى آر ستيفانسون بأن الزلازل الكارثية فى آيسلاند تحدث فى أجزاء من البلاد تقع تحتها مراكز انتشار تتجه شمالا وجنوبا حيث تتجمع الإجهادات وتسبب زلازل لا تقل قوتها عن ٥ بمقياس ريختر. وهذه الزلازل المتوسطة الحجم تحدث بأعداد كبيرة كما هو الحال فى المناطق البركانية حيث تكون الصهارة فى سبيلها إلى الخروج. وتحدث فى آيسلاند زلازل بقوة ٧ ولكنها مرتبطة بمنطقة الصدوع التحويلية المتجهة شرقا وغربا بين أقسام مركز الانتشار (الشكل ٢-٢٣).

البحر الأحمر وخليج عدن

تكونت آيسلاند على مركز انتشار ناضج ظل يعمل فى توسيع حوض شمالى المحيط الأطلنطى منذ حوالى ١٨٠ مليون سنة. فما شكل مركز انتشار شاب وحوض محيطى جديد؟ طويل وضيق. ففى عالم اليوم تقع أحواض المحيطات الطويلة والضيقة فى شمال شرقى أفريقيا والبحر الأحمر وخليج عدن (الشكل ٢-٢٤). فالجزء الشمالى الشرقى من أفريقيا يقع فوق منطقة فائقة الحرارة من الوشاح العلوى. والحرارة الواقعة داخل هذه المنطقة الحارة من الوشاح، مقيدة جزئيا بتأثير التغطية العلوية للوح أفريقيا والقارة الواقعة عليه (الشكل ٢-٢٥أ). ويتضخم الصخر الحار فى الحجم

ويسيل ليصبح صهارة. ويؤدى تضخم الحجم إلى تقبب الصخور العليا وارتفاع السطح ليكون تضاريس (الشكل ٢-٢٥ب). ويساعد الارتفاع المقبب الجاذبية على سحب الكتل الصخرية المرتفعة إلى أسفل وإلى الخارج صانعا صدوعا عادية ذات أودية أخدودية مركزية منحدرة، تدعى كذلك الأحواض المتباعدة (الشكل ٢-٢٥جـ). وكلما اتسعت الشقوق/ الصدوع ارتفعت الصهارة من الشروخ لتكون بركانا. وكلما استمرت الأخاديد والبراكين، زادت عمليات انتشار قاع البحر فيمتلئ الوادى الأخدودى المنحدر بماء المحيط وهنا يولد بحر جديد (لشكل ٢-٢٥د).

ويظهر الشكل (٢-٢٤) أحد المعالم الجيولوجية المهمة الأخرى. فهناك ثلاثة أحواض متباعدة تتلاقى عند الطرف الجنوبى من البحر الأحمر فى نقطة اتصال ثلاثية، وهى النقطة التى تتلاقى فيها ثلاثة ألواح. بدأ تركيز الحرارة فى أعلى الوشاح فى تشكيل هذه الوصلة الثلاثية؛ إذ انبعج سطح الأرض إلى أعلى على هيئة قبة مما أدى إلى كسر الصخور العليا على شكل دائرى (الشكل ٢-٢٦). وتُباعد الجاذبية بين أجزاء القبة فتطفح الصهارة لتملأ ثلاثة كسور كبرى؛ وهنا تبدأ عملية الانتشار.

ونقطة الاتصال الثلاثية فى شمال شرقى أفريقيا شابة جيولوجيا، إذ بدأت تتشكل منذ حوالى ٢٥ مليون سنة. وحتى الآن انتشر البحر الأحمر وخليج عدن بالقدر الكافى الذى يسمح بشق شمال شرقى أفريقيا وتكوين لوح الجزيرة العربية والسماح لماء البحر بالتدفق بينهما. ولكن وادى الأخدود فى شرقى أفريقيا لم يتسع بالقدر الكافى لكى يسمح للبحر بملئه (الشكل ٢-٢٧). فوادى الأخدود فى شرقى أفريقيا أحد الظواهر الجغرافية الطبيعية المهمة. فطوله ٥٦٠٠ كم (٣٥٠٠ ميل) وله جروف منحدرة ووديان عميقة. ويبدأ بمثلث أفار عند حافته الشمالية وتمتد جنوب غربيه هضبة أثيوبيا الممتدة والمقببة ثم ينقسم بعدها وادى الأخدود إلى فرعين رئيسيين. والأخدود الغربى مقوس بشكل ملحوظ وبه عدد كبير من البحيرات العميقة بما فيها ثانية أعمق بحيرة فى العالم وهى بحيرة تنجانيقا. والأخدود الشرقى أكثر استقامة ويضم بحيرات قلوية ضحلة وقمما بركانية، مثل قمة جبل كيليمنجارو أعلى جبال أفريقيا. ويحتوى الوادى الأخدودى على أقدم حفائر بشرية وجدت حتى الآن؛ وربما كانت موطنا للإنسان الأول. فهل يستمر الانتشار بما يسمح بفصل لوح الصومال عن أفريقيا؟ لا يزال الأمر مبكرا للإجابة عن هذا السؤال.

ما هو مقدار الزلازل فى البحر الأحمر وخليج عدن الشابين بالمفهوم الجيولوجى؟ هذا أمر مهم، ولكن زلازل مراكز الانتشار ليست فى حجم الزلازل التى تقع عند حواف النماذج الأخرى من الألواح.

الزلازل ومناطق التلاقى

تحدث أقوى الزلازل فى العالم حيث تتصادم الألواح. وهناك ثلاثة أنواع رئيسية من التصادم: (١) لوح محيطى بلوح محيطى. (٢) لوح محيطى بلوح قارى. (٣) لوح قارى بلوح قارى. ويحدث نتيجة لهذه التصادمات إما انضواء أو ارتفاع قارى؛ إذ تركب حافة اللوح الأصغر عمرا(*) والأدفأ والأقل كثافة فوق اللوح الأقدم عمرا والأبرد والأعلى كثافة الذى ينثنى إلى أسفل وينسحب داخلا الوشاح. فإذا كانت القارة مشتركة فلا تنضوى بسبب حجمها الكبير وكثافتها القليلة وصخورها الأكثر طفوا لا تغطس إلى العمق الكبير ولا تنسحب داخل صخور الوشاح الأعلى كثافة والواقعة أسفلها. ومصير ألواح المحيطات الدمار عن طريق الانضواء والذوبان داخل الوشاح؛ بينما تطفو القارات على الدوام فوق النطاق الانسيابى. والقارات تنفصل ثم تتجمع فى أشكال أخرى عن طريق التصادم، ولكنها لا تتدمر بالانضواء (الغطس).

مناطق الانضواء (الغطس)

تعتبر مناطق الانضواء (الغطس) مواقع للزلازل القوية. تخيل عملية سحب لوح صلد سمكه ١٠٠ كم (٦٢ ميلا) فى صخور ضعيفة قابلة للتشوه فى الوشاح تقاوم

(*) أرى أن اللوح الراكب هو اللوح الأقدم عمرا؛ يقول د.مصطفى محمود سليمان فى كتابه **الزلازل**، الألف كتاب الثانى ٢٣٩ - الهيئة العامة للكتاب ١٩٩٦، ص٢١٢: «دلت دراسات تقارير أعمار الصخور بالنظائر المشعة على أن صخور قيعان المحيطات أحدث عمرا من صخور القارات، فصخور قيعان المحيطات يقدر عمرها بمئات الملايين من السنين بالمقارنة مع بلايين السنين كعمر لصخور القارات». (المترجم)

اقتحام اللوح. وهذه العملية تقوم بتخزين طاقة هائلة تنطلق على مراحل على هيئة زلازل؛ إذ يحدث الانضواء على نطاق واسع. ففى المعدلات الحالية للانضواء تنسحب الألواح المحيطية بمساحات تعادل مساحة سطح الأرض بأكملها فى الوشاح فى مدة قدرها ١٨٠ مليون سنة فقط.

واللوح الغاطس من قشرة المحيط يحدده سطح مائل للبؤر العميقة (الشكل ٢-١٤). وتحدث الزلازل فى مناطق الانضواء من نماذج مختلفة من حركات الصدوع فى الأعماق الضحلة مقابل المجالات العميقة. وفى الأعماق الضحلة (الأقل من ١٠٠ كم أو ٦٢ ميلا)، يندفع اللوحان الصلبان من ألواح القشرة الأرضية الصلبة ضد بعضهما البعض. وتحدث الزلازل نتيجة حركات تضاغطية حيث يتحرك اللوح العلوى الراكب إلى أعلى، بينما يتحرك اللوح المنضوى إلى أسفل. وتحدث كذلك حركات الصدوع المتباعدة بالقرب من السطح فى اللوح المنضوى عندما ينثنى إلى أسفل وينهار انهيارا توتريا، وعندما يرتفع اللوح العلوى الراكب عن مستواه. لاحظ فى الشكل (٢-١٤) أن الزلازل الضحلة تحدث: (١) فى الجزء العلوى من اللوح المنضوى، (٢) عند انثناء اللوح المنضوى، (٣) فى اللوح الراكب.

قارن أوضاع البؤر الضحلة بالبؤر المتوسطة والعميقة (الشكل ٢-١٤). ففى الأعماق الأسفل من ١٠٠ كم تحدث الزلازل تحديدا فى داخل القشرة المحيطية الأبرد، قلب اللوح المنضوى. وتعمل الحرارة العالية فى صخور الوشاح الأعلى على إخضاعها للضغوط وبذلك لا تتجمع الطاقة المخزونة اللازمة لإحداث الزلازل العملاقة. وفى العمق تصبح الأسطح العليا والسفلى للألواح المنضوية دافئة بقدر لا يقوى على توليد زلازل كبيرة. وعلى هذا، تحدث الزلازل فى المناطق الداخلية الأبرد فى الصخور الصلدة حيث يختزن الجهد وتسحب الجاذبية ضد مقاومة الوشاح لانضواء اللوح واختراقه. وفى مناطق الانضواء الأسرع ربما يظل اللوح المنضوى الغاطس محافظا على صلابته بما يكفى لحدوث زلازل فى عمق يزيد عن ٧٠٠ كم (٤٣٥ ميلا). والزلزال القوى ذو البؤرة العميقة يتبدد جزء كبير من طاقته الزلزالية وهو فى طريقه إلى السطح. ولهذا فإن الكوارث الكبرى تحدث من الزلازل الكبرى ذات البؤر الضحلة.

وتحدث معظم زلازل منطقة الانضواء اليوم حول حافة المحيط الهادى. ويتضح هذا من وجود معظم خنادق أعماق المحيط وبالتركيز الكثيف للمراكز السطحية (الشكل ٢-١٣). ويوضح الشكل (٢-٢٨) منطقة ألواح الانضواء فى المحيط الهادى وأوضاع ومدى تكرار ومناطق الشعور العنيف ببعض الزلازل الحديثة. وإذا نظرت إلى هذا الشكل فأين تتوقع حدوث الزلازل الكبرى الآتية؟ وأكثر الوسائل تنبوءًا بالزلازل تشرحها طريقة الثغرة الزلزالية.

طوكيو فى اليابان فى ١٩٢٣

فى الصباح الباكر من يوم السبت الموافق ١ سبتمبر ١٩٢٣ عصفت الموجات الأخيرة من عاصفة ضعيفة بمدينتى طوكيو ويوكوهاما. وفى الضحى صفت السماء وسطعت الشمس بينما كان المواطنون يعدُّون وجبة الغداء. وبعد لحظات تبدد ذلك المشهد المطمئن بسلسلة فتاكة من الزلازل. وحدثت الصدمة الرئيسية بقوة ٨ر٢ تحت خليج ساجامى فى الجنوب الغربى من هاتين المدينتين الكبيرتين. وهبط قاع خليج ساجامى بشدة فاندفعت موجات زلزالية بحرية ارتفاعها ١١متر (٣٦ قدما) تسمى الموجات السنامية(*) وضربت الشاطئ.

واجتاحت الأمواج مئات المنازل. ولكن الصيادين الذين أمضوا يومهم بعيدا عن الشاطئ فى عرض البحر لم يعلموا شيئا عن هذه الأمواج الشيطانية. وفى نهاية اليوم قفلوا راجعين إلى الشاطئ عبر خليج ساجامى، وكاد يغشى عليهم عندما شاهدوا حطام منازلهم وأجساد عائلاتهم طافية. كان الدمار على الأرض عظيما؛ إذ دمرت المنازل وسقطت الجسور وانهارت الأنفاق ودمرت الانزلاقات الأرضية المنحدرات بما تحمل من غابات ومدرجات سفوح التلال المعدة للزراعة. وأعقب الدمار الذى حاق بمبانى طوكيو ويوكوهاما من جرَّاء الهزة الأرضية حرائق. فتسببت الهزة فى انهيار المواد

(*) الأمواج التسونامية أو السنامية Tsunami: كما يطلق عليها اليابانيون، أكثر الناس تضررا من ويلاتها، وهى مرتبطة بوقوع الهزات الزلزالية. (هميمى- **الزلازل**، ص١٢٣- المترجم)

المنزلية القابلة للاشتعال فى المطابخ فامتدت ألسنة اللهب التي انطلقت دون أية سيطرة عليها فى كلتا المدينتين. وعجزت وسائل الإطفاء عن التدخل لوقف انتشار الحرائق نظرا إلى تحطم مصادر الماء بفعل الزلزال. وأدت الريح المتنقلة إلى دفع النيران داخل طوكيو لمدة يومين ونصف، مدمرة ٧١٪ من منازل المدينة. وأتلف هذا الجحيم أحشاء المدينة بنسبة ١٠٠٪.

وربما كانت أبشع مأساة فى هذه الكارثة هي التى حدثت عندما احتضن ٤٠٠٠٠ شخص ممتلكاتهم الشخصية وحاولوا الهروب من اللهب فاحتشدوا فى حديقة مساحتها ٢٤٠ إيكر(*) (فدان تقريبا) يمتلكها أحد الأثرياء من أصحاب البنوك على ضفة نهر سوميدا. وقد حشد الناس أنفسهم فى هذا الفراغ المفتوح حتى أصبحوا غير قادرين على الحركة. وفى الساعة الرابعة مساء أى بعد بضع ساعات من الزلزال حاصرت النيران المزمجرة هذا الحشد من الجهات الأرضية الثلاث. وأحدثت الرياح التى رفع الحريق حرارتها إعصارا قمعيا حمل النار وأفرغها فوق الجموع المحتشدة وممتلكاتهم القابلة للاشتعال. وبعد خمود الحرائق قتل ٣٨٠٠٠ شخص بين محروق بالنيران ومخنوق بالدخان. وكان التصرف الغريزى المعتاد باللجوء إلى الأرض الفضاء أثناء الكارثة خاطئا بشكل مذهل.

واجتمعت قوى الزلازل والأمواج البحرية الزلزالية والحرائق فقتلت ٩٩٣٣١ شخصا وظل ٤٣٤٧٦ شخصا آخرين مفقودين وفى عداد الأموات. وفى طوكيو فقدت السجلات النادرة التى لا تعوض ودمرت ثروة من التراث الفنى المجمع على مدى ٢٠٠٠ سنة. ولكن رغم هذه الكارثة الهائلة ظلت الروح المعنوية للشعب اليابانى عالية. فقد تعلموا من الكارثة؛ إذ أعادوا بناء مدنهم بشوارع أوسع وفضاء أرحب واستخدام أقل لمواد قابلة للاشتعال فى البناء.

فمتى يضرب الزلزال القوى القادم؟ يساعدنا الشكل (٢-٢٨) على تقدير إطار عام؛ فربما مُلئت الثغرة فى التاريخ الزلزالى فيما بعد. ويعلمنا كذلك السجل التاريخى

(*) الإيكر acre = ٤٠٤٧ متر مربع أى فدان تقريبا. (المترجم)

للزلازل فى الإقليم. فالإقليم الواقع على بعد ٨٠ كم (٥٠ ميلا) فى الجنوب الغربى لطوكيو ضربته خمسة زلازل قوية جدا على مدى ٤٠٠ سنة. فالزلازل تحدث بالتقريب كل ٧٣ سنة وآخرها كان فى عام ١٩٢٣.

شيلى فى عام ١٩٦٠

وقع أقوى الزلازل الذى سجلته جميع الأجهزة على الإطلاق فى يوم ٢٢ مايو ١٩٦٠ فى جنوبى شيلى. أفادت حسابات لحظة الزلزال للزلزال الرئيسى بأن قوته ٩,٥ بمقياس ريختر (الشكل ٣-٣١). وبمقارنته بنفس الحسابات بزلزال سان فرنسيكسو فى عام ١٩٠٦ تبين أن الأخير كانت قوته ٧,٩ بمقياس ريختر. ولكى نقدر الفوارق حق قدرها بين الطاقة المتحررة فى كلتا الحالتين علينا أن ننظر إلى الشكل (٢-٢٩). فزلزال الصدع التحويلى فى أول الأمر يؤثر على المنطقة العنيفة الواقعة على قسم الصدع الذى يتحرك. وعلى أية حال، كانت أحداث شيلى ١٩٦٠ ذات حركة سفلية للوح محيطى منضو بحيث أنه بعد عدة أيام غطى منطقة طولها ١٠٠٠ كم (٦٢٠ ميلا) وعرضها ٣٠٠ كم (١٨٠ ميلا). وكانت مساحة المنطقة الغاطسة تماثل مساحة كاليفورنيا طولا وعرضها تقريباً. ويوضح الشكل (٢-٢٩) بوضوح العدد الكبير والتوزيع الواسع للصدمات الإنذارية المدمرة والصدمات التابعة. ومن هذه الصدمات الإنذارية الكبيرة ما حدثت فى الساعة ٢,٤٥ بعد الظهر فى يوم الأحد ٢٢ مايو فتدفق الناس الذين أحسوا به إلى الشوارع. وكان من حظهم السعيد أن انطلقت الموجة الرئيسية بعد ٣٠ دقيقة حيث انهارت معظم المنازل وسكانها لا يزالون يتحدثون فى الشوارع.

وليست زلازل شيلى نادرة ولا صغيرة. ففى يوم ٢٠ فبراير ١٨٣٥ كان تشارلز داروين فى شيلى أثناء رحلته الأسطورية على متن سفينة جلالة الملك بيجيل وعاش أحداث زلزال كبير. فوصفه الدقيق لمساحات كبيرة من الأرض ارتفعت فوق منسوب البحر والأمواج البحرية العملاقة تضرب الشاطئ وبركانين ثارا كان وصفا رائعا وما زال تعليميا حتى يومنا هذا.

مناطق تصادم قارة بقارة

وأعظم مباراة تضاغطية فى العالم الحديث ما يجرى من نطح الهند لآسيا. فعندما تفككت جوندوانالاند تحركت الهند شمالا فى اتجاه آسيا. فقاع البحر (اللوح المحيطى) البالغ طوله ٥٠٠٠ كم (أكثر من ٣٠٠٠ ميل) الواقع فى طريق المسار الشمالى للهند انضوى تحت آسيا منذ حوالى ٤٠ مليون سنة. وحين لم يتبق قاع بحر يفصلهما نخست الهند الجزء المعرض من البطن لقارة آسيا (الشكل ٢-٣٠). ومنذ الاتصال الأول ظل الاقتحام مستمرا فتحركت الهند ٢٠٠٠ كم (١,٢٥٠ ميلا) أخرى إلى الشمال. ودخل ١٠٠٠ كم من الهند تحت آسيا وسكنت ١٠٠٠ كم أخرى فى الطبقة العلوية الراكبة والتعشق بين القارتين عن طريق صدع دسرى(*) فى الكتلة الضخمة لجبال هيملايا وهضبة التبت. وبلغ سمك طبقة القشرة قبل الاصطدام لكل من الهند وآسيا حوالى ٣٥ كم (٢٢ ميلا). والآن بعد الاصطدام زاد سمك القشرة المشتركة إلى ٧٠ كم (٤٤ ميلا) لتشكل أعلى منطقة قارية على سطح الأرض. فهضبة التبت تفوق كل ما عداها من الكتل الأرضية العالية.

ففى منطقة تبلغ مساحتها مثل مساحة فرنسا يزيد متوسط ارتفاعها عن ٥٠٠٠ متر (١٦٥٠٠ قدم). ولكن ما شأن هذا كله بالزلازل؟ ففى كل عام تستمر حركة الهند حوالى ٥ سم (٢ بوصة) داخل آسيا على امتداد جبهة طولها ٢٠٠٠ كم (١,٢٥٠ ميلا). وهذا الارتطام الجارى يضرب مساحة كبيرة بزلازل قوية. وتشمل المنطقة المتأثرة بها الهند وباكستان وأفغانستان وهضبة التبت وجزء كبير من شرقى روسيا ومنغوليا ومعظم الصين. وهذه تجربة بسيطة نسبيا توضح كيف يسبب تصادم القارات صدوعا تولِّد الزلازل (الشكل ٢-٣١). وتستخدم التجربة دعامة تدفع فى كومة من الطين الصلصالى فتشوهها بالقوة. والتشوه الناجم عن التجربة مماثل للخريطة التكتونية لإقليم الهند - آسيا (الشكل ٢-٣٢). فاندفاع الهند فى اتجاه الشمال يضطر الهند الصينية إلى الهروب إلى الجنوب الشرقى ويدفع بجزء كبير من الصين إلى الشرق.

(*) صدع الدسر thrust fault: صدع ذو زاوية ميل صغيرة ينشأ من الضغط الشديد الذى يؤدى إلى تحرك علوى للجدار المعلق بالنسبة للجدار السفلى. (**معجم الجيولوجيا** - المترجم)

مقاطعة شاآنكسى فى الصين فى عام ١٥٥٦

حدث أكثر الزلازل فتكا بالبشر فى التاريخ فى عام ١٥٥٦ عندما قتل ٨٣٠٠٠٠ صينى فى زيآن وبالقرب منها على ضفاف نهر هوانج العظيم (الذى كان يعرف بالنهر الأصفر). وبالإقليم تلال متعددة تتكون من رواسب ذرتها الرياح من الغرين والمرل(*) وهى ذات تماسك قليل جدا وقدرة ضئيلة على الالتصاق ببعضها البعض. ونظرا إلى سهولة الحفر فى هذه الرواسب حفر المواطنون فيها كهوفا يسكنونها. وبينما كان معظم المواطنين فى بيوتهم (كهوفهم) فى الساعة الخامسة من صباح يوم ٢٣ يناير الشتوى، انبعثت من الزلزال الكبير موجات زلزالية. وأحدثت الهزة العنيفة فى رواسب الغرين والرمال بالإقليم هزة مزقتها وجعلتها أشبه شىء بالسائل. ودفن معظم سكان هذه الكهوف عندما تسيلت جدران منازلهم التى انهارت بعد أن كانت صلبة من قبل.

تانجشان فى الصين فى عام ١٩٧٦

حدث أحدث الزلازل فتكا بالبشر فى العصر الحديث تحت مدينة تانجشان مباشرة عندما انشق صدع على عمق ١١ كم (٧ أميال) استجابة للإجهاد الإقليمى الذى أحدثه التصادم الجارى للهند بآسيا، وكانت قوة الزلزال ٧,٨ بمقياس ريختر ولكن نظرا إلى أن التهديد بالزلزال لم يؤخذ مأخذ الجد، فكانت نماذج المبانى لينة مما أدى إلى شدة فتك الزلزال. وهذا القرار الخاطئ كان سببا فى قتل ٢٤٢٤١٩ نسمة.

وفى عام ١٩٧٦ كانت تانجشان مدينة صناعية وغنية بالمناجم يسكنها مليون نسمة. ففيها أكبر مناجم الفحم فى الصين، ولهذا وجدت فيها الصناعات الثقيلة موقعا خصبا. وفيها تضافر استخراج الفحم مع صناعات الصلب والكهرباء ومحركات الديزل وقاطرات السكك الحديدية مجتمعة فى جعل إنتاجها يبلغ حوالى ١٪ من إجمالى الناتج

(*) طيس (لوس) loess: رواسب تتكون من حبيبات دقيقة جدا من الغرين والمرل ولونها أصفر، وهى ليست طباقية، وتكون تربة خصبة. (**معجم الجيولوجيا**- المترجم)

الوطنى فى الصين. أما سكان تانجشان فكانت ليلة ٢٧ يوليو حارة على غير العادة حافلة بالأمطار والرياح. ولكن الأحداث الأكثر عجبا فى تلك الليلة كانت كرات اللهب والبرق التى انطلقت فى السماء فى جميع ألوان طيف قوس قزح. وفى الساعة ٢,٤٢ من صباح يوم ٢٨ يوليو بدأت الأرض تدمدم حتى صار معظم المدينة حطاما. وكان معظم السكان فى منازلهم المكتظة والمبنية باللبن المرصوص بملاط ردىء النوع والمغطاة بأسقف من الطين والجير أضعفتها الطبقات المتراصة فوقها على مر السنين. وكانت المنازل أماكن غير آمنة فى هذا اليوم حيث إنها ٩٣٪ منها، وكان حظ مبانى المصانع أفضل؛ حيث انهار منها ٧٨٪ فقط. وعلى أية حال، كانت مقاومة المنازل القديمة أقوى من نظيرتها الحديثة. وكان بعض العمال الأوفر حظا هم عمال المناوبة الليلية فى مناجم الفحم الذين يعملون على عمق آلاف الأقدام تحت سطح الأرض فى أثناء الزلزال. ورغم أن ١٥٠٠٠عامل بالمناجم ماتوا فكان حالهم أفضل من زملائهم العاملين بالمناوبة النهارية؛ إذ قتل ٦٥٠٠ عامل من مجموع ٨٥٠٠٠ عامل كانوا فى الراحة خارج المناجم. وفى جميع الأحوال ظلت الروح المعنوية مرتفعة. وأعيد بناء تانجشان وعادت لتأوى أكثر من مليون مواطن، يعيشون الآن فى مبان أفضل تصميما.

وطقس الزلزال مصطلح متداول بيننا؛ فهذه الفكرة ليست لها صلاحية، لأنه ليست هناك علاقة بين الطاقة المنطلقة من حركات الصدع على عمق عدة أميال تحت سطح الأرض وبين الطقس، الذى يتأثر بطاقة الشمس التى يستقبلها سطح الأرض. فمثلا، حدثت زلازل شاآنكسى وتانجشان عندما كانت درجات الحرارة فى الحالتين على طرفى نقيض (أحدهما شتوى والآخر صيفى).

لوح شبه الجزيرة العربية

بظهور مراكز الانتشار الشابة جيولوجيا فى البحر الأحمر وخليج عدن انفصلت الحافة الشمالية الشرقية للقارة الأفريقية (الشكلان ٢-٢٧ و٢-٣٣) ونشأ لوح شبه الجزيرة العربية. وبتحليل حركة لوح شبه الجزيرة العربية تتضح لنا رؤية ثاقبة فى مختلف نماذج الزلازل.

الزلازل فى مناطق التصادم

ربما كانت منطقة البحر الأحمر وخليج عدن بعيدة عن كثير من الزلازل الكبيرة، ولكن انتشارها هو المسئول عن تعشق لوح شبه الجزيرة العربية فى أوراسيا محدثا عددا من الزلازل المدمرة هناك. فالصخور القارية الصلدة للوح شبه الجزيرة العربية تندفع كالإسفين فى البطن الصلبة لأوراسيا. وترفع قوة التصادم سلسلة جبال (مثل القوقاز وزاجروس فى الشكل ٢-٢٤) وتحرك كثيرا من الصدوع التى تولِّد براكين فتاكة يتميز بها هذا الجزء من العالم.

آرمينيا فى ديسمبر عام ١٩٨٨

الشتاء فى جبال القوقاز بارد. وفى صباح يوم الأربعاء الموافق ٧ من ديسمبر عام ١٩٨٨ بلغت درجات الحرارة التجمد. استيقظ ٧٠٠٠٠٠ نسمة يعيشون فى منطقة قطرها ٥٠ كم (٣٠ ميلا) بالقرب من سبيتاك فى أرمينيا ثم توجهوا إلى أعمالهم أو مدارسهم. وفى هذا الوقت هيأ الإقليم مأوى لعدد ١٠٠٠٠٠ لاجئ من المعارك مع أذربيجان؛ وكثير منهم كان يسكن فى مساكن متهالكة. وتغيرت كل مظاهر الحياة جذريا فى الساعة ١١,٤١ صباحا عندما بدأت الأرض تتحرك لمدة حوالى ٣٠ ثانية من حركة الصدع الذى ولَّد زلزالا قوته ٦,٩ بمقياس ريختر. وفى الساعة ١١,٤٥ صباحا أضافت صدمة تابعة أخرى بقوة ٥,٩ إلى الدمار واليأس. وفى خلال خمس دقائق فارق الحياة ٢٥٠٠٠ نسمة على الأقل وجرح أكثر من ٣١٠٠٠ نسمة بجروح خطيرة منهم ٤٠٠٠ فقدوا أطرافهم. وبلغت الخسائر فى المبانى ذروتها بحيث ظل ٥٠٠٠٠٠ نسمة متروكين بلا مأوى، وترك الدمار الشامل أو الجزئى فى ٨٣ مدرسة و٨٨ روضة أطفال أعدادا لا حصر لها من الأطفال فى حاجة إلى رعاية طبية. ولكن هذه الموجات الزلزالية ذاتها دمرت كذلك ٨٤ مستشفى وقتلت وجرحت ٨٠٪ من الأطباء والممرضات فى الوقت الذى كان الموقف فى أشد الحاجة إليهم.

فما السبب فى هذا الزلزال؟ فشبه الجزيرة العربية تندفع تجاه أوراسيا بمعدل ٤,٥ سم (١,٨بوصة) فى السنة، صانعة تضاغطا وتقصيرا. وهذا التصادم القارى - القارى يحدث ارتفاعا فى جزء من حزام الجبال الواسع الممتد من جنوبى أوروبا حتى آسيا، من الألب إلى الهملايا. وفى هذا الزلزال ارتفع سطح الأرض مترين (٦,٥ قدما) فى حركة تضاغطية راسية فى معظمها حتى ارتفع جزء من أرمينيا إلى أعلى وركب لوح شبه الجزيرة العربية.

فلماذا قتل هذا العدد الكبير من الناس فى زلزال أرمينيا؟ قتلت الصدمة الرئيسية وقوتها ٦,٩ بمقياس ريختر والصدمة التابعة وقوتها ٥,٩ بمقياس ريختر أكثر من ٢٥٠٠٠ مواطــن من المواطنين البالغ عددهم ٧٠٠٠٠٠ مواطن فى دائرة نصف قطرها ٥٠ كم (٣٠ ميلا) من المركز السطحى. قارن هذا بسلسلة الزلازل العالمية (لوما بريتا) جنوبى سان فرنسيسكو التى وقعت بعد عشرة شهور. كان حدثا بقوة ٧ر١ قتــل فيــه أقــل من ٢٥ شخصا من تعداد يزيد عن ١,٥ مليون نسمة يعيشون فى منطقة نصف قطرها ٣٠ ميلا من المركز السطحى. فلماذا خلَّف زلزال كاليفورنيا، الذى بلغت قوته ضعف قوة الزلزال الأرمينى وأثر على أكثر من ضعف عدد سكان أرمينيا، عددا أقل من القتلى بنسبة ١,٠٪؟ وتعرض علينا الإجابة مأثورة مهمة هى - **الزلازل لا تقتل ولكن المبانى هى التى تقتل**. والسبب الرئيسى فى وفيات الزلازل هو انهيار المبانى.

ولا يثير الرعب مثل انهيار المبانى العالية ٩ أدوار أو ١٢ دورا. فأثناء حدوث الزلزال تفارق الكمرات الأفقية الأعمدة العمودية فتسقط الأسطح غير المدعومة ببساطة. وأصبحت بعض المبــانى ذات التسع طوابــق كالفطيرة المتراصة الطبقات وصار ارتفاعها لا يزيد عن طابق واحد؛ وليس فيها متسع لكى يظل فيها إنسان على قيد الحياة. فسكان هذه المبانى انضغطوا بين طبقات الأسطح المتراصة محدثة زيادة فى عدد الوفيات.

حاشية جانبية: نظرة تاريخية

يجدر بنا أن نتأمل آثار الزلازل فى الأرض المقدسة، وفكر الأئمة من رجال الدين فى هذا الإقليم، الذى يعتبر مهدا لليهودية والمسيحية ومنطقة مهمة للمسلمين. تخيل الأئمة الأوائل الذين عاشوا فى مساكن متقشفة مبنية باللبن والأحجار على طول أحد صدوع المضرب المنزلقة فى العالم. وكان إدراكهم محدودا بعمل الأرض، وعليهم أن يشرحوا ويفسروا الأحداث التى دمرت مدنا بأكلمها وقتلت آلافا من الناس. ومن المدهش أن كثيرا منهم فسر الأحداث المدمرة فى زمانهم على أنها «من صنع الله».

دعنا الآن نستخدم مفهومنا عن الألواح التكتونية وحركات الصدوع ونفسر على ضوئها الأحداث الماضية. فمثلا كيف نفسر قصة اليسوع وهو يقود الإسرائيليين فى أرض الميعاد وخاصة الحادث الشهير لتهدم جدران أريحا ومدينة الواحة؟ فهل يمكن أن يكون زلزال قد وقع أثناء حصار أريحا الطويل، فهدم جدران المدينة وقتل وأقعد كثيرا من مواطنى المدينة وسمح لجيش اليسوع أن يدخل المدينة ويتولى أمورها؟ ويعانى أهل المدن من الجراح والقتل التى يسببها تهدم المنازل جراء الزلزال وليس بسبب القوات المرابطة حولها لحصارها. وتوضح البحوث التاريخية والأثرية فى الأرض المقدسة أن كثيرا من المبانى المتهدمة والمدن القديمة لم تلق حتفها بفعل الزمن أو الإنسان وحده، بل وقع أغلبها بفعل الزلازل.

زلازل الصدوع التحويلية

يتحرك لوح شبه الجزيرة العربية بعيدا عن أفريقيا ويندفع فى أوراسيا، ولكن ماذا يحدث على طول جوانب لوح شبه الجزيرة العربية؟ حركات الانزلاق تحدث عبر الصدوع التحويلية. فعلى الجانب الشرقى يدخل صدع حد اللوح تحت المحيط الهادى وله آثار قليلة على البشر. ولكن انظر إلى حركات الصدع المنزلق التى تحدث على طول الجانب الغربى للوح شبه الجزيرة العربية (الأشكال ٢-٣٣ و٢-٣٤ و٢-٣٥).

منطقة صدع البحر الميت

تماثل منطقة صدع البحر الميت فى نصف الكرة الشمالى منطقة صدع سان آندرياس فى كاليفورنيا. فهى لا تسير مباشرة فى الأرض المقدسة ولكنها أوجدت كثيرا من التضاريس الطبوغرافية المعروفة جيدا فى المنطقة. تذكر أن الشكل (٢-٣٤) يشتمل على أربع تغطيات واضحة أو مدرجات فى منطقة صدع البحر الميت. فحركات الصدع على كلا جانبى المدرجات أوجدت أحواضا متباعدة تمتلئ بالمسطحات المائية التاريخية الشهيرة مثل البحر الميت وبحر الجليل. وظل صدع منطقة البحر الميت نشيطا حتى فتح البحر الميت. وفى ذلك الوقت كان هناك ١٠٥ كم (٦٥ ميلا) من التغيرات المفاجئة و٤٠ كم (٢٥ ميلا) من هذه الحركة حدثت فى ٤,٥ مليون سنة الأخيرة. وهذا يحسب إلى جانب متوسط معدل الانزلاق (الحركة) لأكثر من ٥ مم/سنة على المدى البعيد أو ٩ مم/سنة فى الفترة الزمنية الأخيرة. وعلى أية حال، فالصدوع الخشنة المقاومة للاحتكاك لا تنزلق بسهولة على امتدادها لعدة ملليمترات فى السنة. وتميل الصخور على طول الصدع إلى تخزين الإجهاد حتى تعجز عن تخزين المزيد منه فتتمزق فى حركة صدعية محدثة زلزالا. فكيف تتكرر هذه الزلازل؟ الجدول (٢-١) يرصد جزئيا بعض الزلازل التى حدثت فى الأرض المقدسة، قام بجمعها آموس نور من جامعة ستانفورد.

تركيا فى عام ١٩٩٩

كان مساء حارا ورطبا مما جعل النوم فيه متعذرا، وظل كثير من الناس ساهرين حتى الساعة ٣,٠١ من صباح يوم ١٧ من أغسطس ١٩٩٩ بالقرب من بحر مرمرة فى قلب المنطقة الصناعية فى تركيا. وانزعج الناس عند مشاهدتهم كرة من اللهب ترتفع من البحر، وسماعهم صوت انفجار مدو ورأوا أرضا تغطس على امتداد الشاطئ وموجة عاتية من الماء. وتحرك شق آخر على طول صدع شمالى الأناضول فى زلزال قوته ٧,٤ بمقياس ريختر. وفى هذا الوقت شق الصدع سطح الأرض لمسافة ١٢٠ كم (٧٥ ميلا) وتحرك جانب الصدع الجنوبى تجاه الغرب حتى ٥ أمتار

(١٦,٥ قدما) (الشكل ٢-٣٦). وبعد بضعة أسابيع وبعد أداء المسلمين صلاة العشاء، حدث زلزال بقوة ٧,١ فشق القسم الشرقى من صدع شمالى الأناضول. وتمخض الحدثان المدمران عن قتل أكثر من ١٩٠٠٠ نسمة وإحداث خسائر تقدر بحوالى ٢٠ بليون دولار.

لماذا قتل هذا العدد الكبير من الناس؟ انهارت المنازل المتهالكة (الشكلان ٢-٣٧ و٢-٣٨). واجتذب النمو الصناعى فى الإقليم جماعات جديدة من السكان الذين أحدثوا بدورهم ازدهارا فى بناء المنازل. ولسوء الحظ، بنيت المبانى السكنية فوق تربة رخوة قابلة للاهتزاز؛ بالإضافة إلى أن بعض مقاولى البناء كانوا يخفضون تكلفة البناء بزيادة نسبة الرمل فى الخرسانة مما أدى إلى تفتتها أثناء الاهتزازات الأرضية.

ولا يقع صدع شمالى الأناضول فى لوح شبه الجزيرة العربية، ولكنه حدث من جرائه. وكلما اندفع لوح شبه الجزيرة العربية فى أوراسيا، اضطرت تركيا إلى التحرك غربا واستدارت ببطء فى اتجاه عكس عقربى الساعة فى لوحات تكتونية منزلقة. وتركيا التي يحدها من الشمال صدع شمالى الأناضول ومن الجنوب الشرقى صدع شرقى الأناضول تنضغط غربا مثل بذرة البطيخ التى تنضغط بين الأصابع.

وصدع شمالى الأناضول صدع منطقة طوله ١٤٠٠ كم (٨٧٠ ميلا)، ويتكون من عدة صدوع شبه متوازية، تنفصل وتتصل وتنحنى وتستقيم. وبدأت سلسلة من الزلازل الجديرة بالملاحظة تحدث فى عام ١٩٣٩ بالقرب من نهاية الصدع الشرقية، منها زلزال إيرزينكان بقوة ٧,٩ الذى قتل ٣٠٠٠٠ نسمة. ومنذ عام ١٩٣٩ حدث ١١ زلزالا بقوة تزيد عن ٦,٧ بمقياس ريختر عندما كان الصدع ينشق غربا فى نظام شبه منتظم فريد من نوعه فى العالم (الشكل ٢-٣٦). وفى فواصل زمنية تتراوح بين ٣ شهور و٣٢ سنة تحرك الصدع حركات كبيرة مفاجئة لأكثر من ١٠٠٠ كم (٦٢٠ ميلا).

فماذا يحتمل أن يحدث بعدئذ؟ من المتوقع لأى سبب من الأسباب أن يظل الصدع يتحرك إلى الغرب ويقترب أكثر من إستنبول. ويشغل بحر مرمرة حوضا تكوّن جزئيا من حركات على طول شواطئ صدع شمالى الأناضول شبه المتوازية. والزلزال الكبير القادم يحتمل أن يحدث بالقرب من إستنبول، المدينة ذات ١٢ مليون نسمة التى

تنمو سريعا. وفى الـ ١٥ قرنا الماضية ضرب إستنبول ١٢ زلزالا أحدثت خسائر فادحة. وتشير الإحصائيات إلى أن الزلزال الكبير القادم الذى يضرب إستنبول متوقع بنسبة ٦٢ (+/-٥) ٪ فى خلال الـ٣٠ سنة القادمة.

موجز

سحبت الجاذبيةُ الأرضَ فى عدة طبقات من مختلف الكثافات، بدءًا باللب المعدنى الثقيل ووصولا إلى الخارج حيث الطبقات الأقل كثافة فى الوشاح ثم القارات والمحيطات وأخيرا الغلاف الجوى. وتلك الطبقات توجد فى حالة مُعامل للطفو يعرف بالتوازن. ويمكن قياس حركات الأرض إلى أعلى وإلى أسفل بناء على نظرية الضبط التوازنى.

وتخضع الطبقات الخارجية للأرض لدورة كبرى تعرف بالدورة التكتونية. فالصخور الساخنة الطافية/ الصهارة ترتفع من الوشاح خلال القشرة الأرضية لتبنى سلسلة جبال حول العالم من البراكين (سلسلة أعراف المحيطات). وتعمل الصهارة المندفعة فى سلسلة الأعراف على تباعد حواف القشرة الأرضية (دفع سلسلة الأعراف) وألواحها الضخمة (الألواح) التى تنسحب بفعل الجاذبية (سحب الألواح) لتشكل أحواض المحيطات فى عملية تعرف بانتشار قاع البحر. وعندما تتصادم ألواح القشرة الأرضية المتحركة هذه، يغطس (ينضوى) اللوح ذو الصخور الأعلى كثافة فى الوشاح فى عملية تعرف بالانضواء، لتسيل وتمتص. وتنقسم القشرة الأرضية إلى ألواح تتباعد وتنزلق وتتصادم ببعضها بعضا. فتصادم الألواح يؤدى إلى رفع الجبال وانضواء قيعان البحار لتشكل خنادق عميقة وممتدة، وثورة البراكين وحدوث الزلازل، وهذه الدورة هى عملية الألواح التكتونية. وتتكون القارات من صخور أقل كثافة تركب فوق صخور الألواح المتحركة الأعلى كثافة.

والدليل على تكتونية الألواح واضح جلى. فالمجالات المغنطيسية القديمة الكائنة فى الصخور المعدنية الحاملة للحديد تشير نحو القطبين المغنطيسيين السابقين الجنوبى

أو الشمالى فى نماذج تدل على انتشار قاع البحر وانجراف القارات. كما أن عمر الصخور والرواسب والحفائر وعمق الماء تزداد كلما ابتعدنا عن سلاسل أعراف المحيطات، مما يدل على أن القشرة المحيطية/ القشرة الأرضية دائمة التشكل والانتشار. وعمر أقدم الصخور والحفائر فى أحواض المحيطات يقل بنسبة ٥٪ عن عمر الأرض، مما يدل على أن مادة المحيطات تتحطم بإعادة دورتها فى الوشاح.

وتحدث معظم الزلازل بسبب الحركات الصدعية مصحوبة بالألواح التكتونية. وللألواح ثلاثة نماذج للحواف المتحركة: (١) التباعد عن مراكز الانتشار، (٢) الانزلاق عبر الصدوع التحويلية، (٣) التقارب عند مناطق التصادم. ولا تحدث حركات الشد (التباعد) عند مراكز الانتشار زلازل كبيرة جدا. والحركات الأفقية فى معظمها (الانزلاقية) عند الصدوع التحويلية يمكن أن تحدث زلازل تصل قوتها حتى حوالى ٨ بمقياس ريختر. أما الحركات التضاغطية عند مناطق الانضواء وتصادم القارة بالقارة فتولِّد أعظم الزلازل التكتونية التى تؤثر على أوسع المناطق، مثل زلزال الصين فى عام ١٩٦٠ الذى بلغت قوته ٩,٥ بمقياس ريختر.

وتحدث معظم الوفيات من الزلازل بسبب انهيار المبانى. فمثلا، منذ آلاف السنين بنى الناس منازلهم بالأحجار واللبن على طول منطقة صدع البحر الميت (وهو صدع تحويلى كبير)، ولبضع آلاف من السنين كانت هذه المنازل الهشة تنهار بسبب الزلازل محدثة الكثير من الوفيات. وقد أثرت هذه الكوارث الجيولوجية فى تعاليم كل من اليهودية والمسيحية والإسلام.

ويحدث تصادم القارة بالقارة زلازل كبيرة فى كل من آسيا وآسيا الصغرى. ففى عام ١٩٨٨ قتل زلزال أرمينيا أكثر من ٢٥٠٠٠ نسمة راح معظمهم فى انهيار المبانى الخرسانية المتعددة الطوابق التى لم تكن أعمدتها وحوائطها مرتبطة بسقوفها بأربطة آمنة. وفى عام ١٩٧٦ قتل فى زلزال تانجشان بالصين ٢٤٢٤١٩ شخصا فى منازل مبنية بقوالب من الطين وأسقف ثقيلة وكذلك فى المبانى المتعددة الطوابق. وأكثر الزلازل فى التاريخ إحداثا للوفيات وقع فى عام ١٥٥٦ فى ولاية شاآنكسى بالصين عندما انهارت المنازل المحفورة فى كهوف بطبقة الرواسب الغرينية المفككة (اللوس) وقتل فيها ٨٣٠٠٠٠ نسمة.

وفى مناطق الانضواء يحدث أكبر عدد من الزلازل الكبرى (قوتها ٨ فأكثر). ففى عام ١٩٢٣ دمرت حركة الانضواء فى لوح المحيط الهادى كل مبانى طوكيو ويوكوهاما تقريبا؛ وحدث معظم الدمار بسبب الحرائق التى اندلعت أثناء أنهيار المبانى.

أما فكرة حدوث الزلازل فى ظروف طقس معينة فقد تبين خطؤها. ويزيد تدفق الطاقة من باطن الأرض إلى سطحها من قوة الزلازل، التى لا تتأثر بدرجات حرارتها أو برودتها ولا بجفافها أو رطوبتها ولا بحدوثها ليلا أو نهارا أو بأية ظروف سطحية أخرى.

مصطلحات للمذاكرة

قدم فى الإيكر	acre feet
قدم فى الإيكر	acre feet
نطاق انسيابى	asthenosphere
طفو	buoyancy
شهب/ أحجار سماوية	chondrite
تماسك	cohesion
انجراف القارات	continental drift
الحمل الحرارى	convection
نقطة كورى	curie point
مركز سطحى	epicenter
ألواح منزلقة	escape tectonics
صدع	fault
حفيرة	fossil
أم القارات الجنوبية (جوندوانالاند)	Gondwanaland
بقعة حارة	hot spot

isostasy	توازن
latitude	خط عرض
lava	حمم بركانية
lithosphere	طبقة القشرة الأرضية
loess	رواسب رملية غرينية ناعمة
magnetic field	مجال مغنطيسى
magnetic pole	قطب مغنطيسى
magnetism	المغنطيسية
mantle	الوشاح
mesosphere	الغلاف المتوسط
Pangaea	أم القارات (بانجايا)
plate	لوح
plate tectonics	لوح بنائى تكتونى
plume	ريشة
reef	شعب
ridge	سلسلة أعراف (جبال)
rift	أخدود
seafloor spreading	انتشار قاع البحر
seismic-gap method	طرقة الثغرة الزلزالية
slip	منزلق
spreading center	مركز انتشار
subduction	انضواء/ غطس
tectonic cycle	دورة تكتونية
tectonics	نظرية الألواح البنائية
tension	إجهاد (شد)
thrust fault	صدع دسرى

تضاريس الأرض	**topography**
خندق	**trench**
نقطة الاتصال الثلاثية	**triple junction**
موجة سنامية عاتية	**tsunami**
تماثل فى قوانين الطبيعة	**Uniformitarianism**
لزج	**viscous**

أسئلة للمراجعة

١ – اذكر كيف أصبحت الأرض مقسمة إلى طبقات مختلفة الكثافة؟

٢ – كيف تشكلت القارات والمحيطات والغلاف الجوى للأرض؟

٣ – ارسم وعرِّف أجزاء المقطع العرضى الذى يوضح الدورة التكتونية؟

٤ – ما أعمار أقدم: (١) صخور القمر (٢) النيازك (٣) صخور القارات (٤) الصخور المكونة لقاع المحيط؟

٥ – اشرح دليلا يثبت أن قيعان البحار تنتشر؟

٦ – صف خندق محيط عميقًا واشرح كيف يتشكل؟

٧ – لماذا تحدث الزلازل العميقة فى النطاقات المائلة؟

٨ – اشرح عددا من الأدلة الدالة على أن القارات تتحرك حول الأرض؟

٩ – ارسم قطاعا مقطعيا يوضح بقعة حارة وريشة، كيف يوضحان اتجاهات حركة الألواح؟

١٠– كيف تشكل المجال المغنطيسى للأرض؟

١١– اذكر بعض الأمثلة للتوازن؟

١٢- ارسم خريطة للوح تكتونى مثالى واشرح مخاطر حدوث الزلازل حول كل جانب من حوافه؟

١٣- ما أقوى زلزال يمكن أن يحدث عند مركز الانتشار؟ وعند الصدع التحويلى؟ وعند منطقة الانضواء؟ وعند تصادم قارة بقارة؟

١٤- اشرح لماذا تحدث الزلازل فى منطقة الانضواء أقوى بعدة مرات عن مثيلاتها التى تحدث عند مركز الانتشار؟

١٥- ارسم شكلا تخطيطيا لسلسلة من المقاطع توضح كيف تنفصل القارة لتأوى حوضا محيطيا؟

١٦- ارسم منظراً لخريطة لنقطة اتصال ثلاثية لمراكز الانتشار؟

١٧- ارسم قطاعا مقطعيا من الجنوب الغربى إلى الشمال الشرقى للوح شبه الجزيرة العربية واشرح أصل الزلازل فى أرمينيا وإيران؟

١٨- ارسم قطاعا مقطعيا واشرح لماذا تعتبر الهيملايا أضخم سلسلة جبال فى العالم؟

١٩- اشرح طريقة الثغرة الزلزالية للتنبؤ بالزلازل؟

٢٠- قيِّم فكرة طقس الزلزال؟

أسئلة لمزيد من التأمل

١ - تُدْعَى الأرض عادة «اليابسة». فهل هذا مفهوم جيولوجى أصيل؟

٢ - هل يحتمل أن يحدث نمط الزلازل التى شقت السويد بعد ذوبان المجلدات (المثلجات) مرة ثانية أثناء حياتك؟

٣ - كيف يستخدم السجل المغنطيسى داخل الصخر البركانى فى تقدير خط العرض الذى بردت عنده الحمم؟

٤ – كيف يمكن حساب معدل حركة اللوح؟

٥ – كيف انتقل قطبا المجال المغنطيسى للأرض من الشمال إلى الجنوب والعكس ثانية؟

٦ – ما مقدار انخساف (هبوط) الأرض تحت الأحمال أو ارتفاعها بعد إزالة الحمل أثناء ضبط التوازن؟

٧ – كيف يمكنك استخدام الطعام لعمل نموذج للوح تكتونى فى مطبخك؟

٨ – هل يحتمل أن يتباعد شرقى أفريقيا عن بقية أفريقيا ليشكل لوحا صوماليا؟

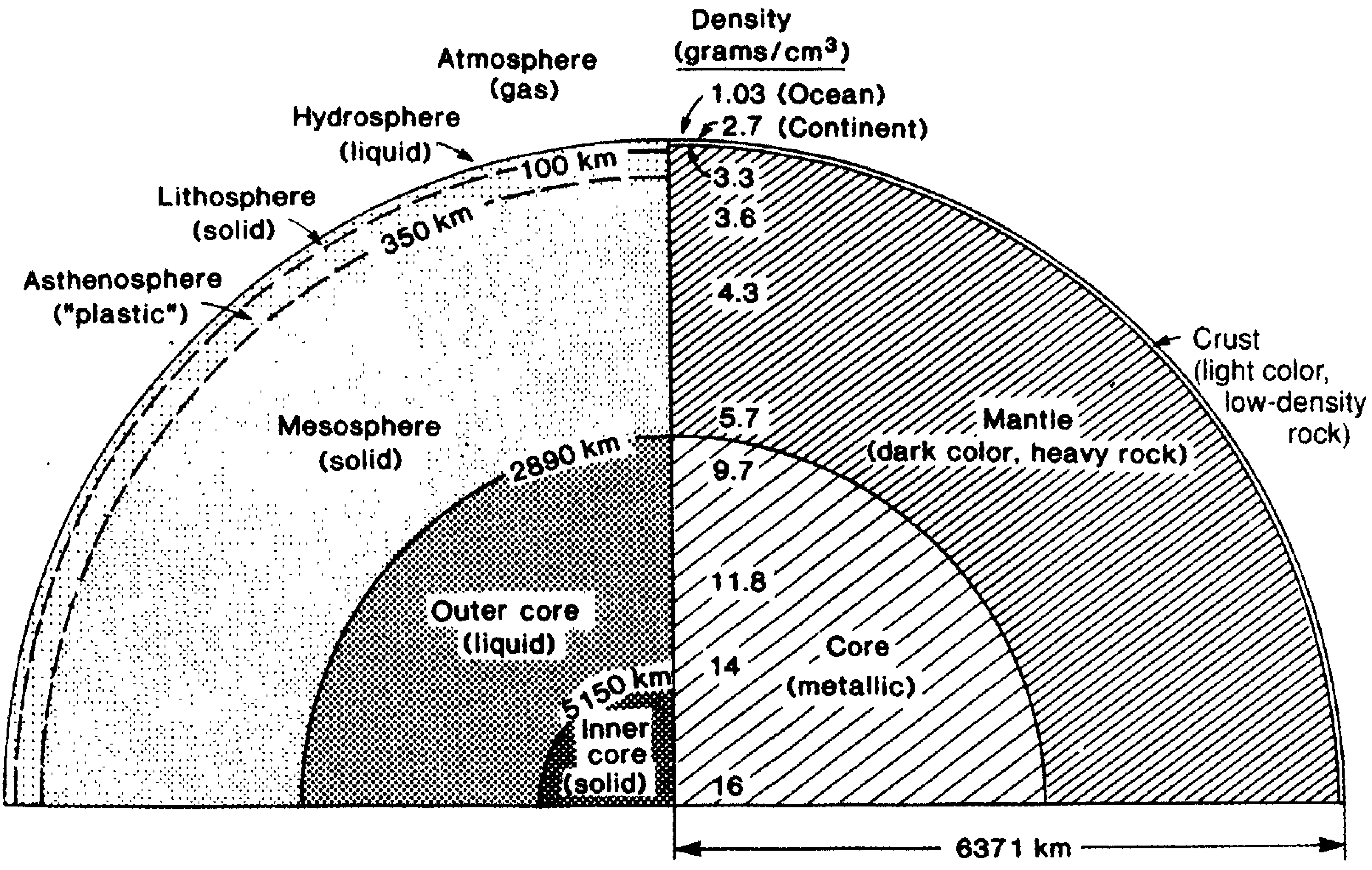
٩ – كيف يمكن لقوم يجهلون المعلومات الجيولوجية ويعيشون فى منازل مبنية بالأحجار بجوار صدع كبير أن يشرحوا زلزالا كارثيا؟

١٠– لماذا ترتبط الحرائق فى المدن عادة بالزلازل الكبرى؟

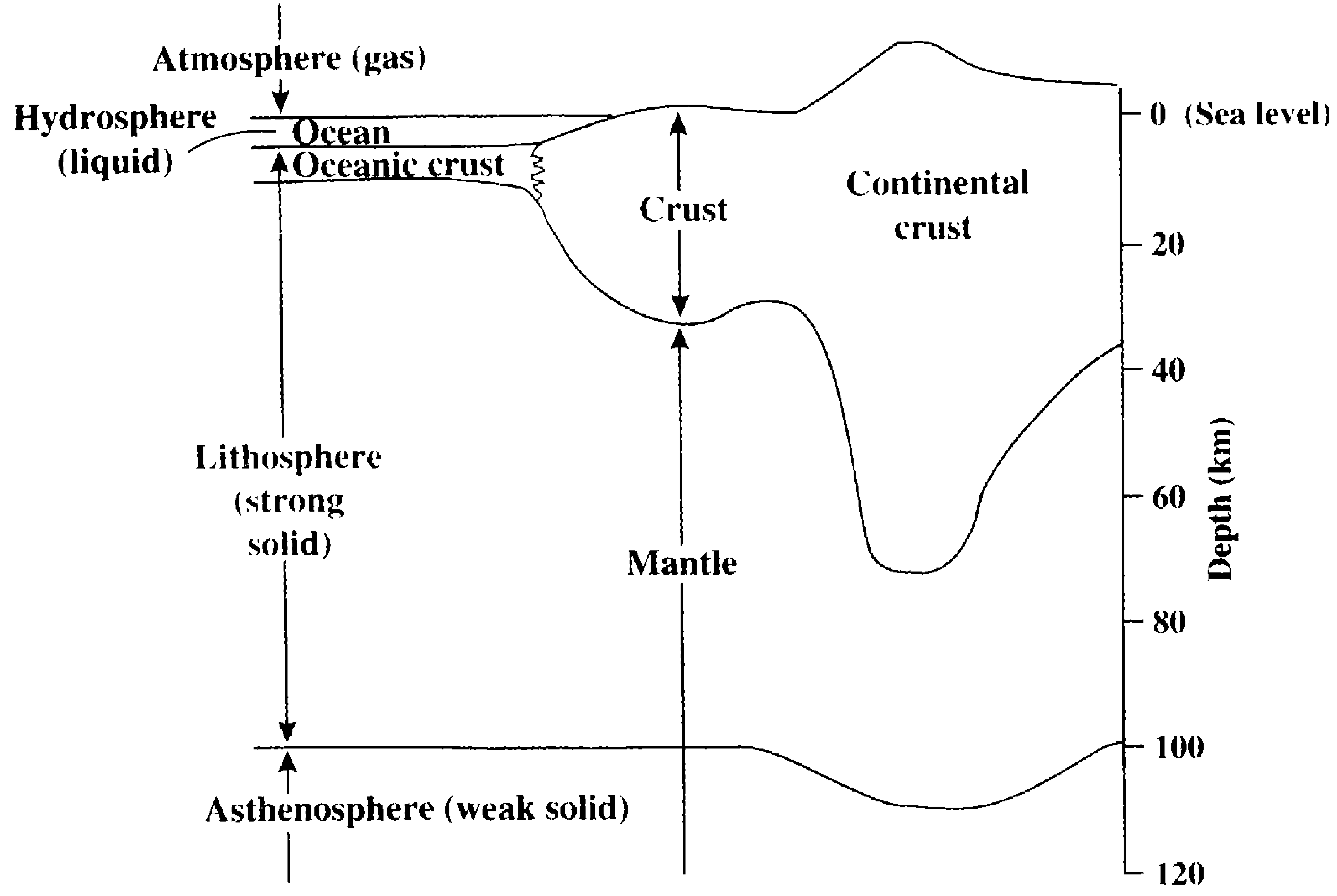
أشكال الفصل الثانى



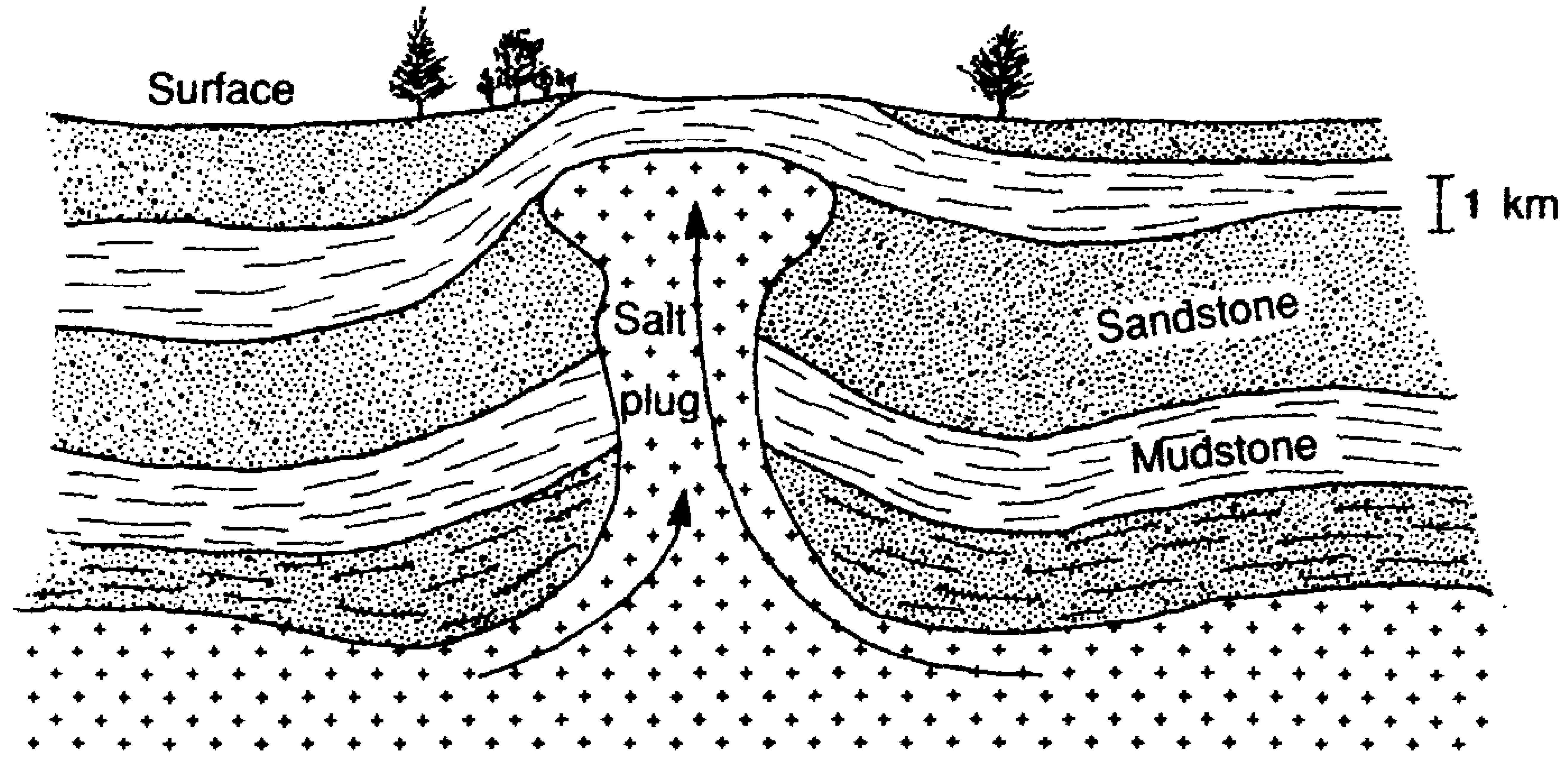
الشكل (٢-١) قتلت الزلازل فى تركيا فى يومى ١٧ أغسطس و١٢ نوفمبر ١٩٩٩ ما يزيد عن ٢٠٠٠٠ نسمة. وفى هذا المربع فى دوشى انهارت سبعة مبان متعددة الطوابق.



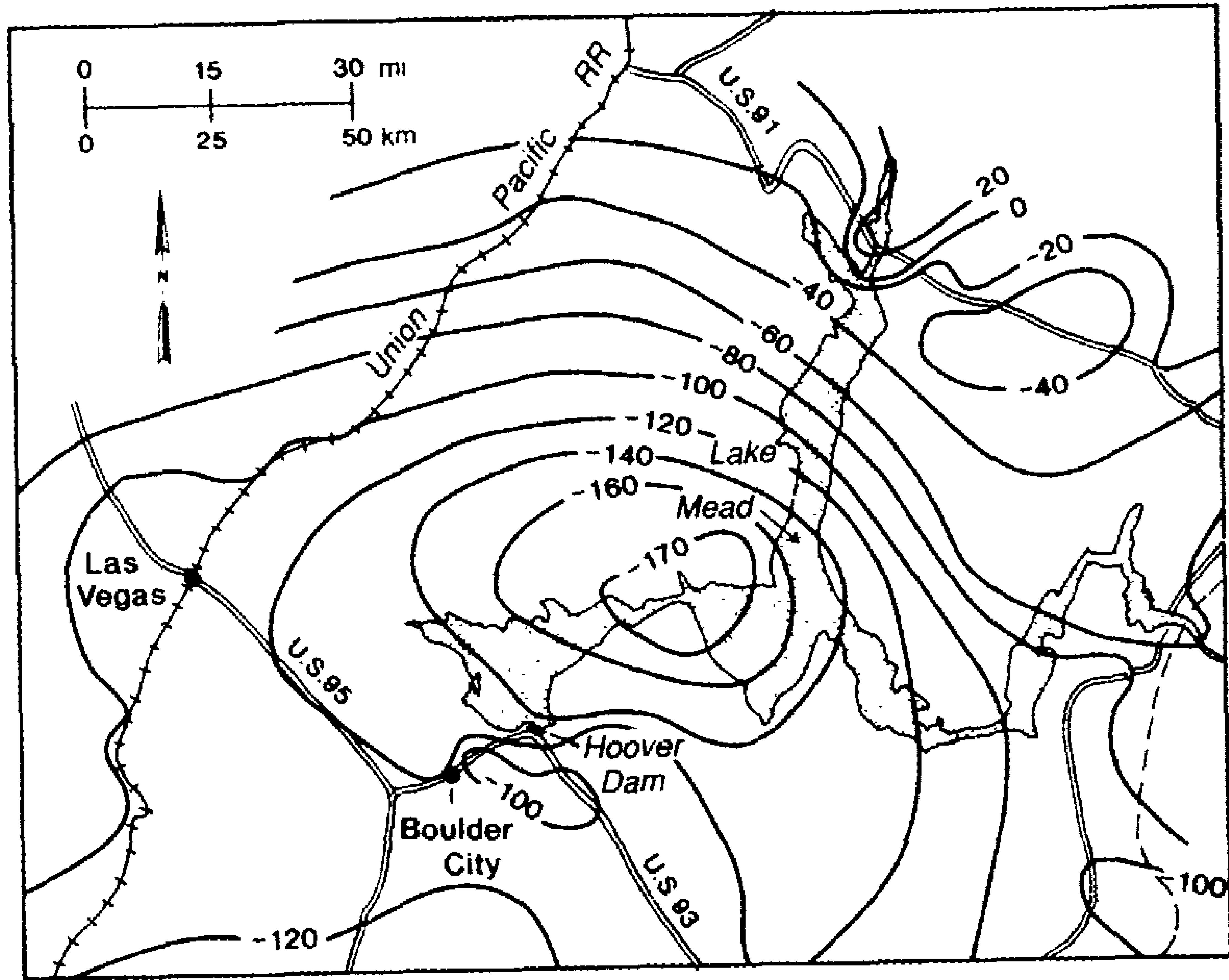
الشكل (٢-٢) التطابق بالكثافة في باطن الأرض، أي أن المواد الأقل كثافة تطفو فوق المواد الأعلى كثافة. ويزداد الضغط والحرارة من سطح الأرض إلى مركزها. والطبقات الموضحة على اليسار توضح الاختلافات في الخواص الطبيعية والقوة. أما الطبقات الموضحة على اليمين فتوضح مختلف التركيبات المعدنية والكيميائية.



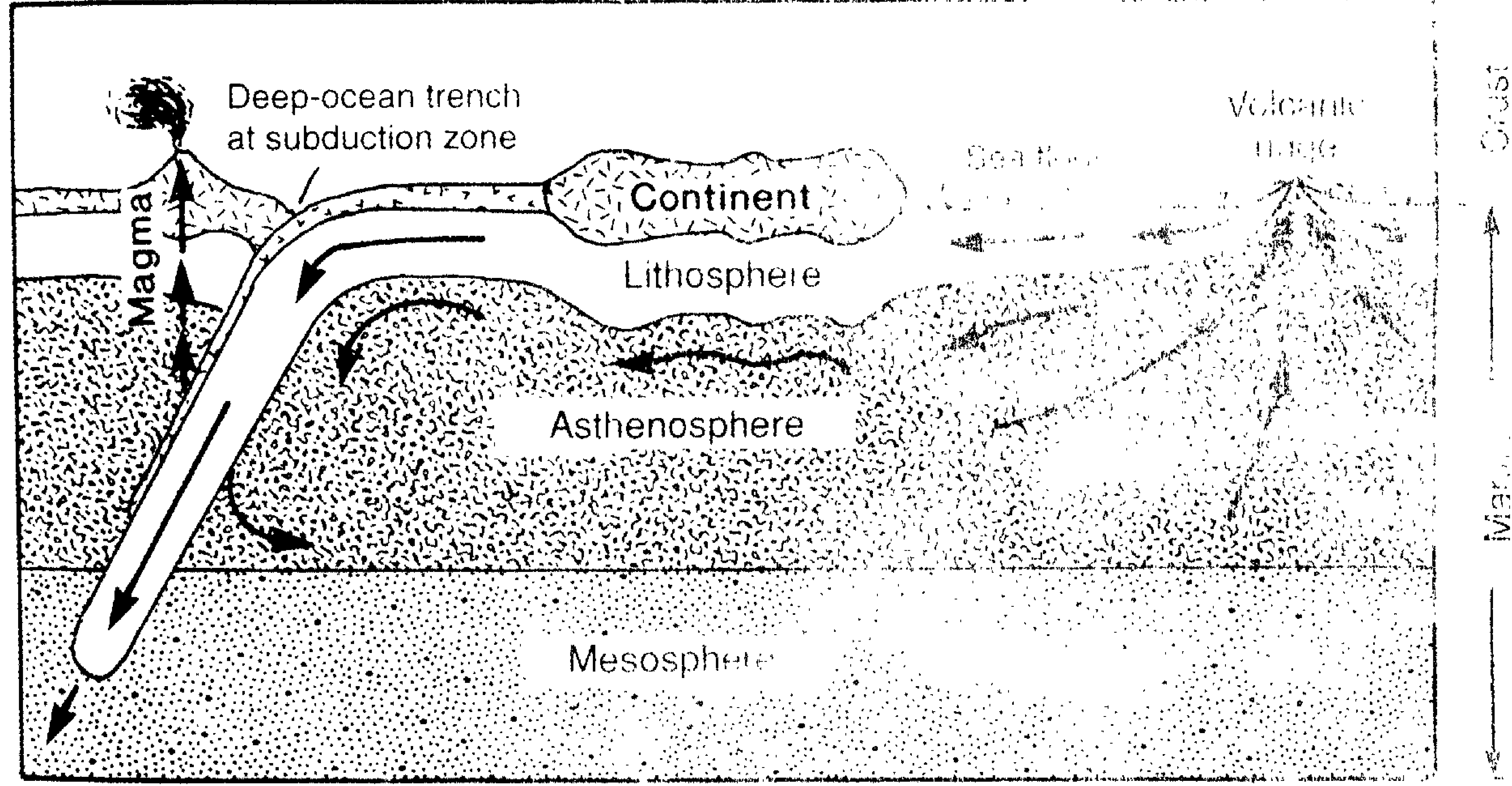
الشكل (٢-٣) يمكن تمييز الطبقات العليا للأرض (١) بالتركيب، حيث تنفصل القشرة ذات الكثافة الأقل عن طبقة الوشاح التى تحتها ذات الكثافة الأعلى، أو (٢) على أساس القوة، حيث تركب القشرة الأرضية الصلبة فوق النطاق الانسيابى اللدن.



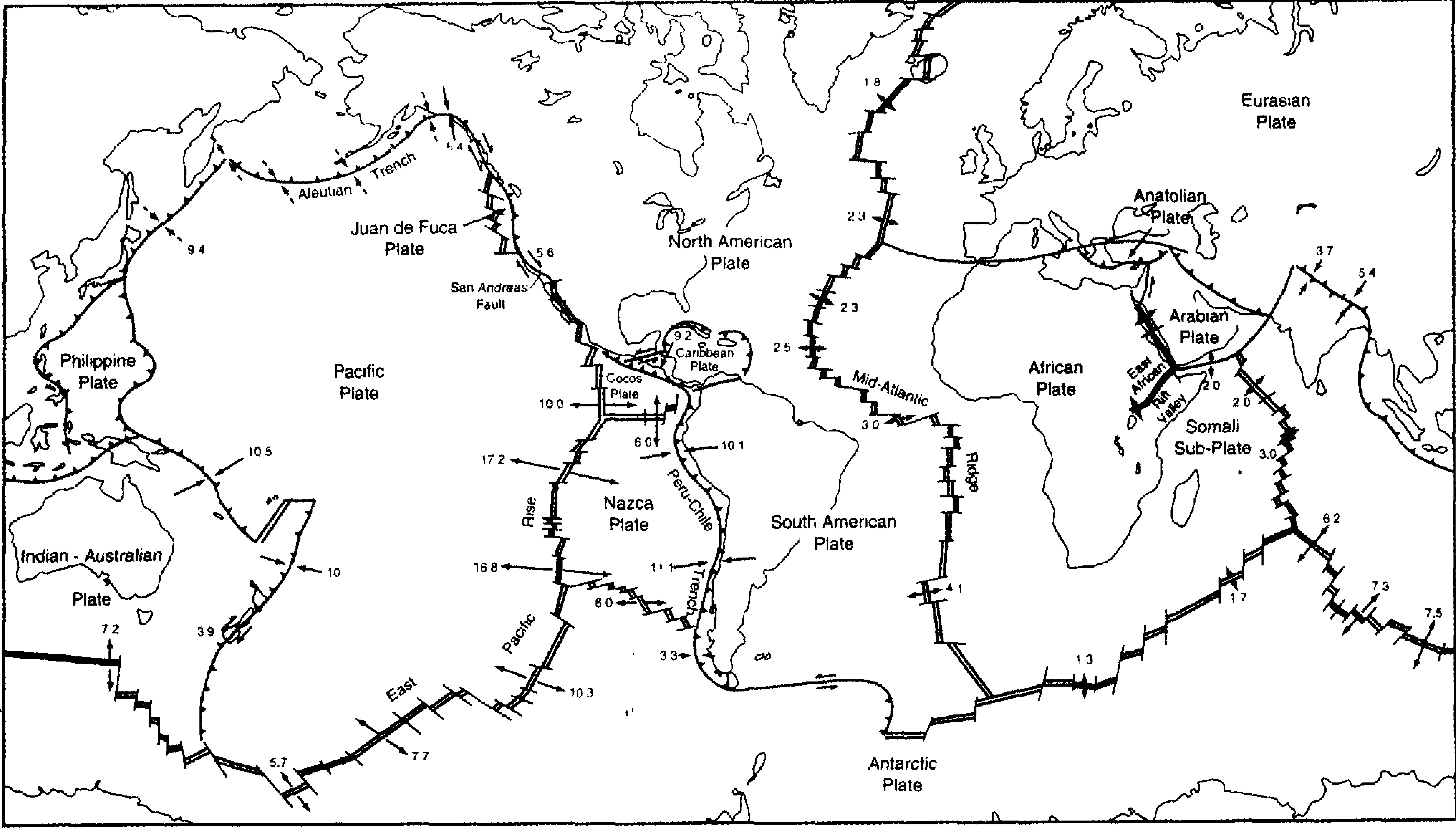
الشكل (٢-٤) سدادة أو قبة الملح التى تدفقت إلى أعلى بسبب ضغط طبقات الرواسب الكثيفة فوق سطح الملح.



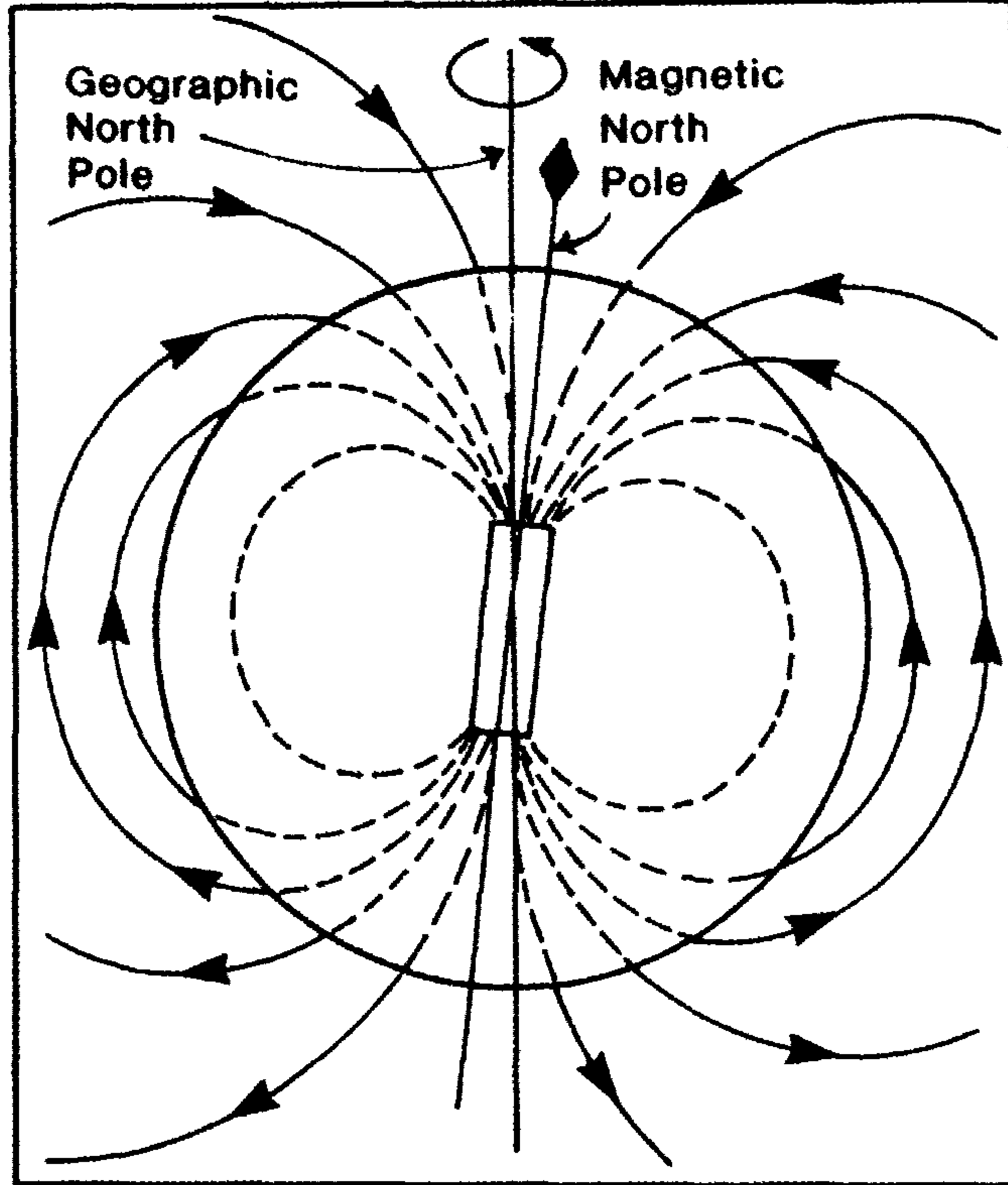
الشكل (٢-٥) الهبوط التوازنى الذى سببه حمل بحيرة ميد منذ عام ١٩٣٥ حتى ١٩٥٠. وتوضح خطوط الكنتورات انخفاض (أو ارتفاع) سطح الأرض بالمليمترات.



[illegible] الدورة البنائية التكتونية. إذ ترتفع الصهارة من النطاق الانسيابي إلى السطح عند سلاسل أعراف المحيط [illegible] على دفع الألواح بعيدا عن بعضها البعض، وتسحب الجاذبية الألواح من تضاريسها العالية. ويبرد اللوح ويزداد سمكه عند قاعدته ويصبح أعلى كثافة، ثم يصطدم بلوح آخر أقل كثافة فينضوى إلى أسفل حيث يُهْضَم فى النهاية فى طبقة الوشاح.



الشكل (٢-٧) خريطة الألواح البنائية التكتونية الكبرى توضح اتجاهات الحركة: كما توضح سرعات الحركة فى السنة بالسنتيمترات.



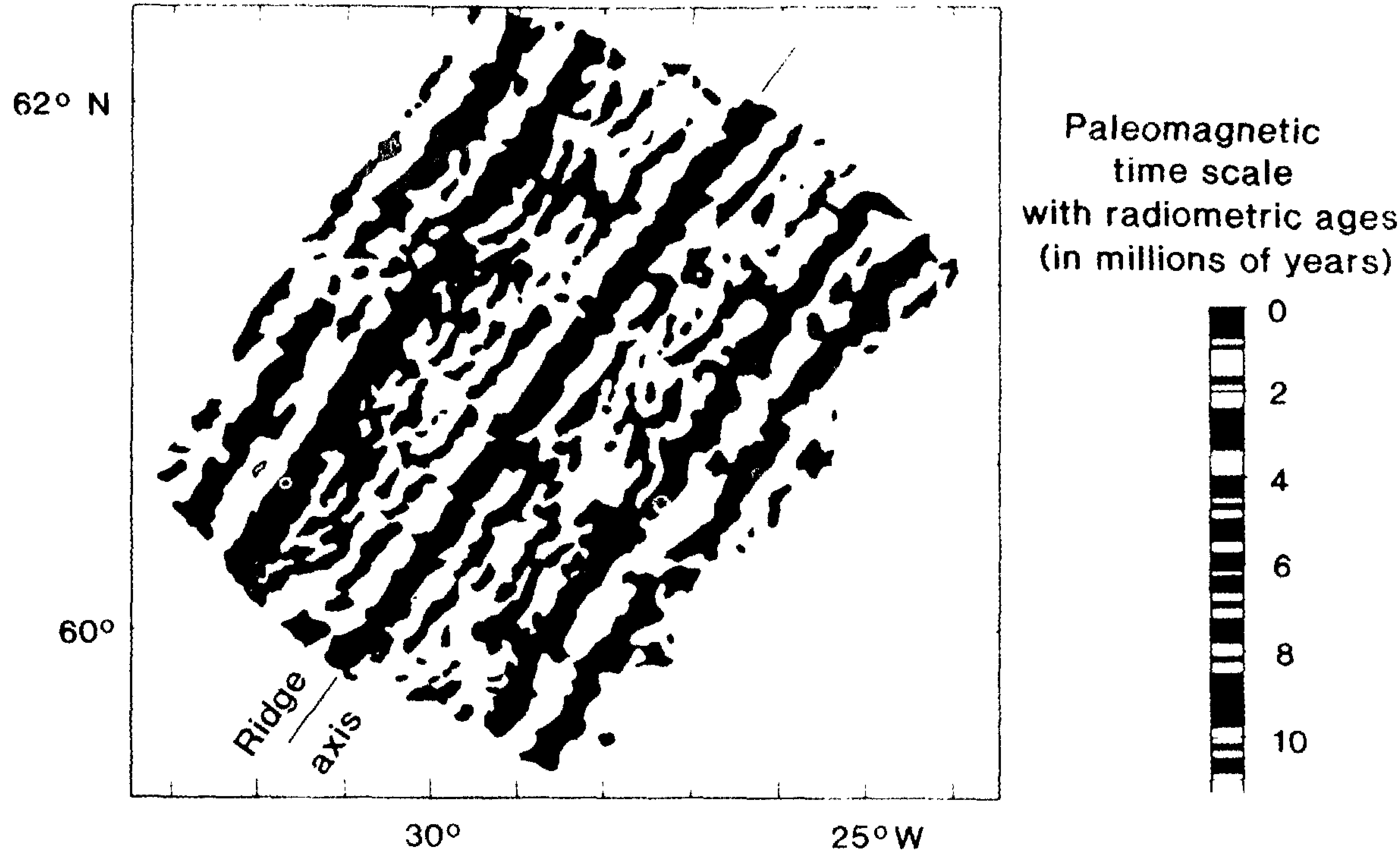
الشكل (٢-٨) رسم تخطيطى يوضح المجال المغنطيسى. والقضيب المغنطيسى المرسوم غير موجود فى الطبيعة ولكنه يوجد المجال المغنطيسى ذاته الذى يصنعه التيار الكهربائى فى باطن الأرض فى اللب الخارجى السائل الغنى بالحديد. لاحظ أن (١) القطب المغنطيسى والقطب الجغرافى الدوار غير متطابقين. (٢) وخطوط القوى المغنطيسية موازية لسطح الأرض عند خط الاستواء المغنطيسى وعمودى على القطبين المغنطيسيين. (٣) وتدخل خطوط القوى المغنطيسية فى الأرض عند القطب الشمالى وتخرج منها عند القطب الجنوبى.



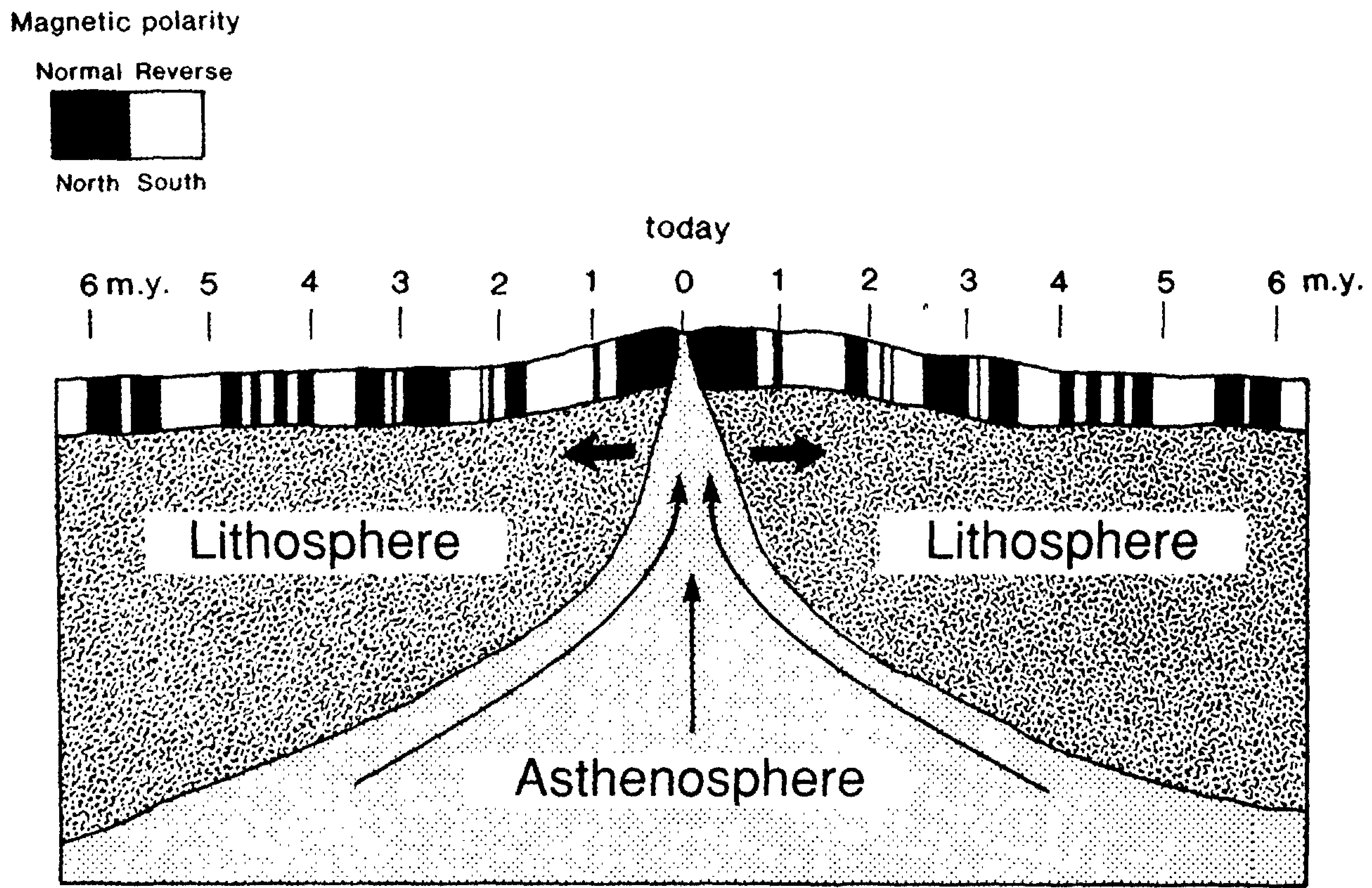
[illegible]

Volcanic rocks:
former lava flows
Reversed polarity
Normal polarity
Radiometric time scale (in millions of years)
0 (today)
1
2
3
4
Magnetic polarity reversal time scale

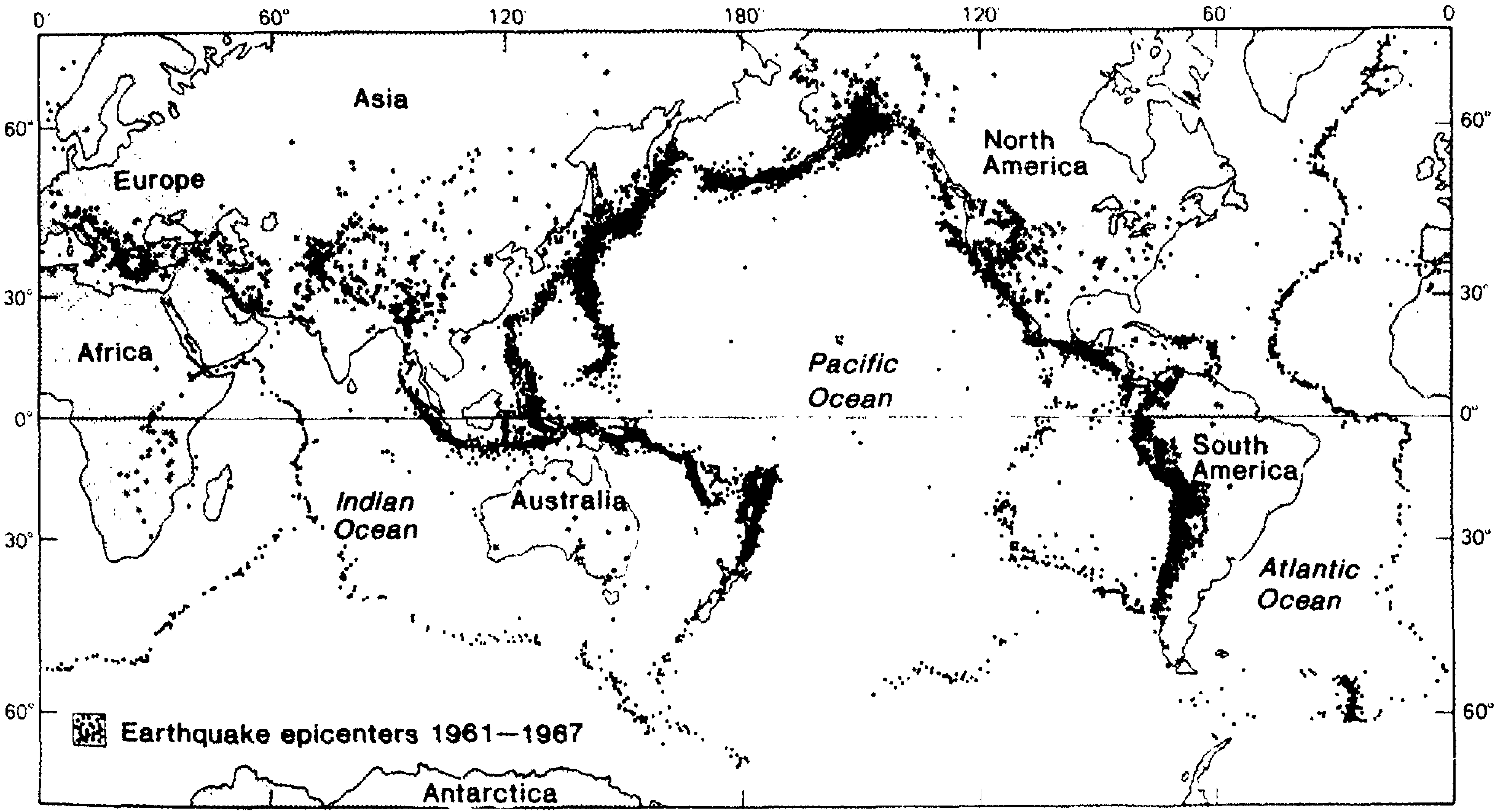
الشكل (٢-١٠) قسم من المقياس الزمنى للقطبية المغنطيسية. فقياسات القطبية المغنطيسية فى الصخور البركانية بالإضافة إلى الأعمال المقاسة بالإشعاع لنفس الصخور تسمح بإنشاء مقياس للزمن مبنى على انعكاس القطبية المغنطيسية. لاحظ أن نموذج انعكاس القطبية المغنطيسية فريد لا يتكرر.



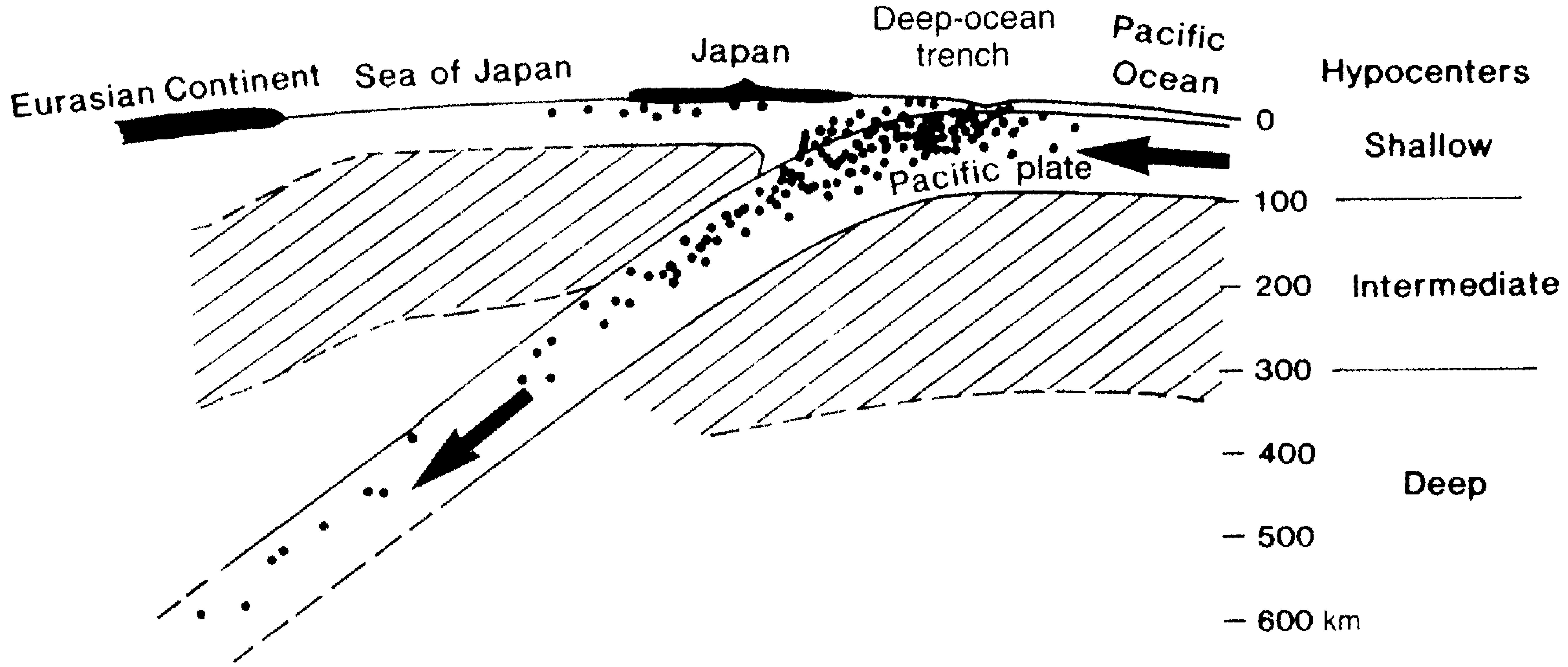
الشكل (٢-١١) خريطة لقاع المحيط الأطلنطى المخطط مغنطيسيا جنوب غربى أيسلاند. فالمناطق السوداء ممغنطة وتشير إلى القطب الشمالى، بينما تشير المناطق البيضاء إلى القطب الجنوبى. لاحظ صور النماذج المتماثلة كصورة بالمرآة على كلاجانبى سلسلة الأعراف البركانية (مراكز الانتشار).



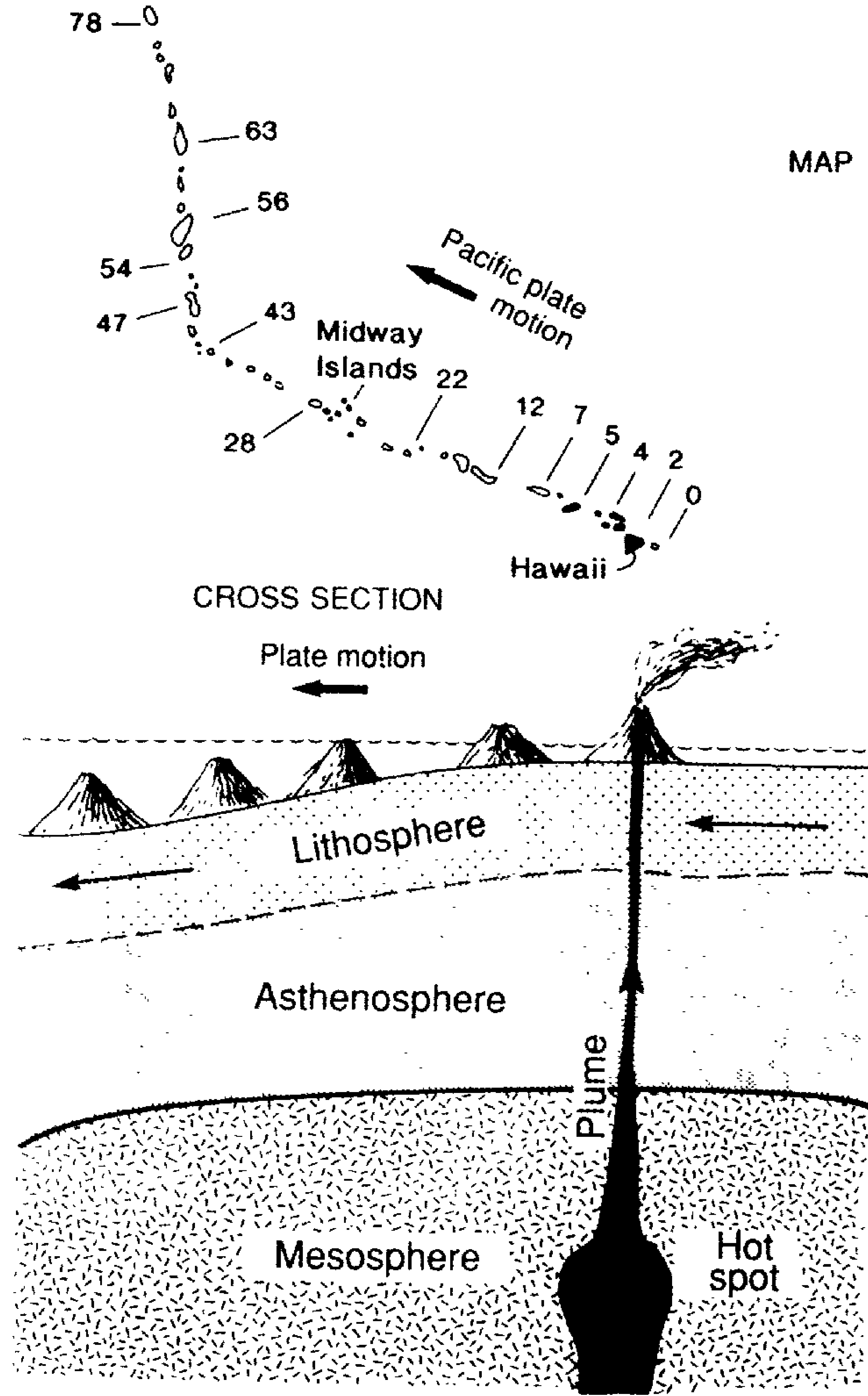
الشكل (٢ - ١٢) قطاع مقطعى لقاع البحر المخطط مغنطيسيا. والأرقام المذكورة فوق قاع البحر مقاسة بمقياس كثافة الطاقة الإشعاعية وتوضح الأعمار بملايين السنين. والنموذج المغنطيسى المتماثل مثل صورة بالمرآة يشبه شريط التسجيل الذى يوثق حركات «حزام التوصيل» بعيدا عن سلاسل الأعراف البركانية.



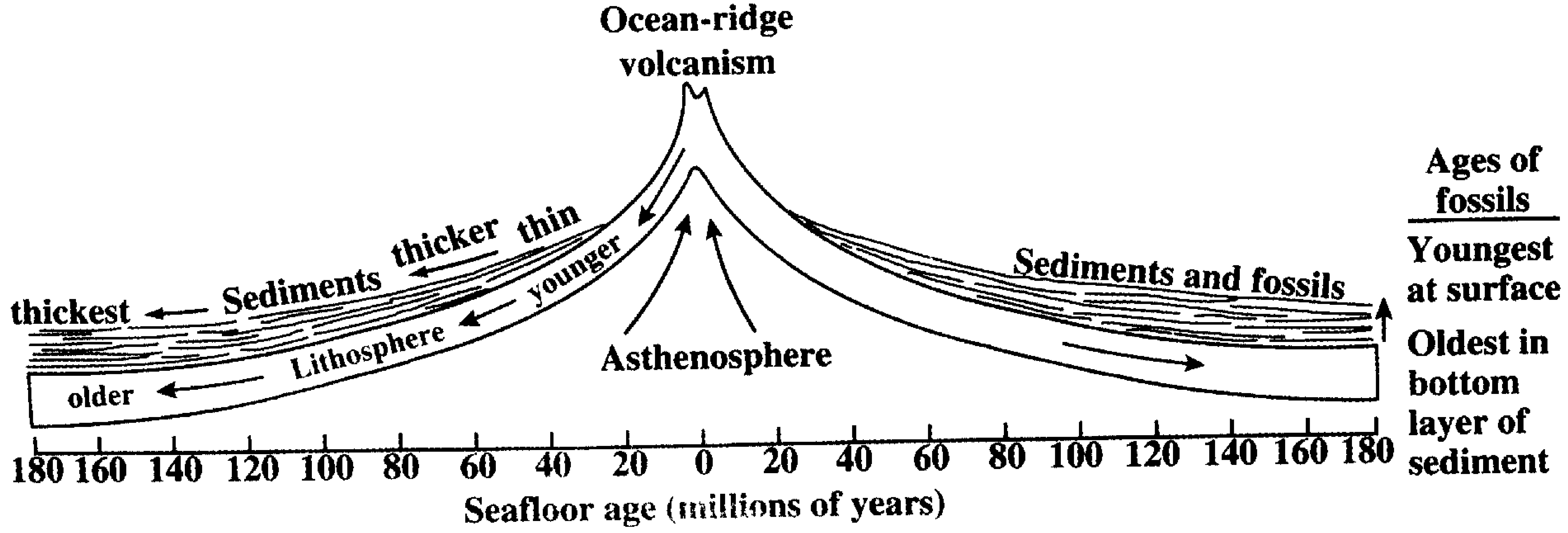
الشكل (٢-١٣) خريطة المراكز السطحية (نقط فوق السطح) سجلتها المساحة الجيوديسية والساحل فى الولايات المتحدة منذ ١٩٦١ حتى ١٩٦٧. لاحظ أن المراكز السطحية مركزة فى آحزمة خطية.



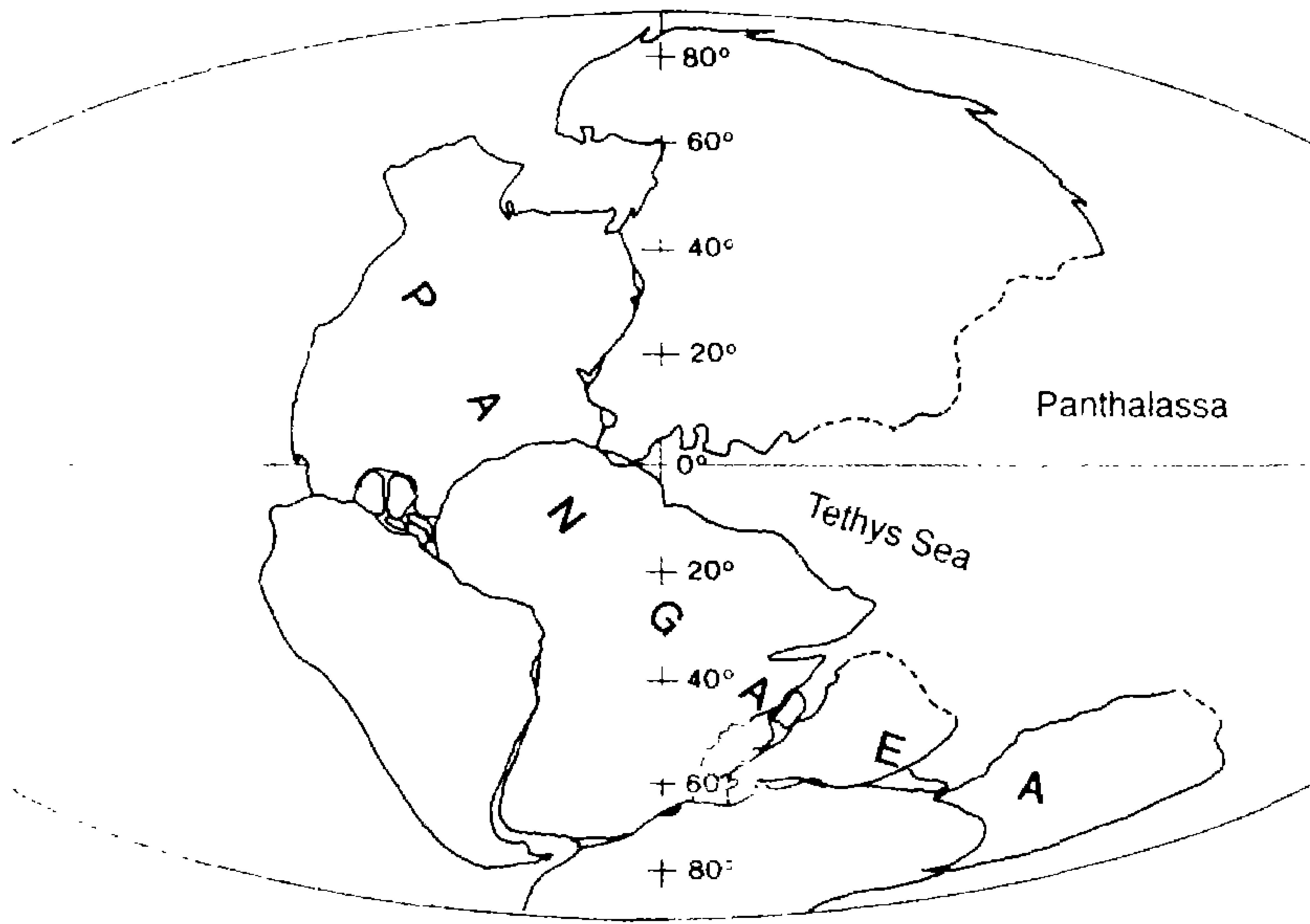
الشكل (٢-١٤) قطاع مقطعي يوضح مواقع الزلازل في العمق: لاحظ السطح المائل الذى تحدده مواقع الزلازل. وتحدد مواقع الزلازل اللوح المنضوى تحت اليابان. وفى الأعماق الضحلة تتولد الزلازل فى الصخور الهشة في كل من الألواح المنضوية (الغاطسة) والألواح الراكبة. وفى الأعماق الأبعد يبرد الجزء الداخلى للوح المحيط الهادى المنضوى للحفاظ على الصلابة اللازمة لإحداث الزلازل. والمناطق المظللة تمثل صخورا حارة تحددها الموجات الزلزالية ذات السرعة المنخفضة نسبيا.



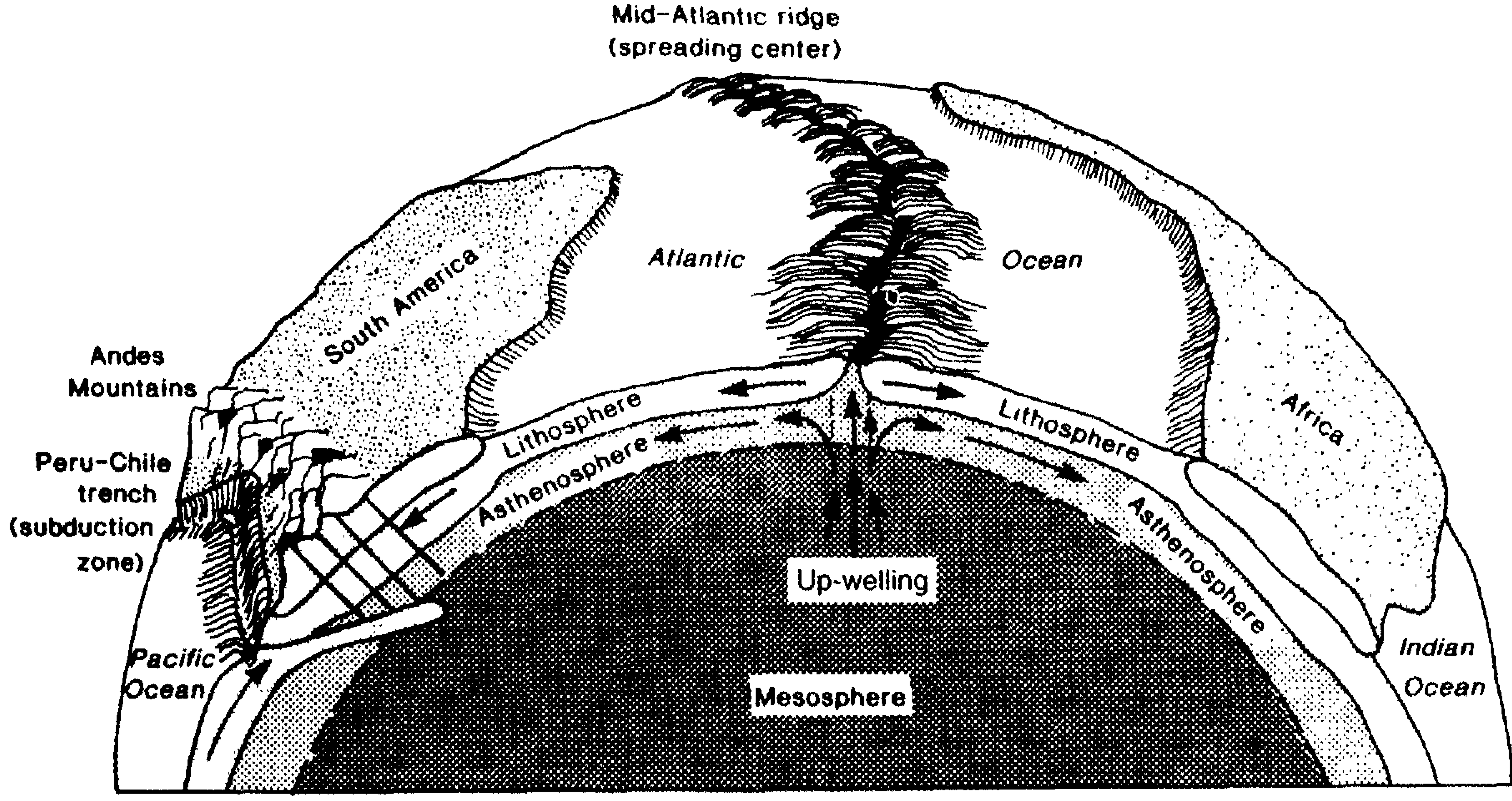
الشكل (٢ – ١٥) بقعة حارة وقناتها. (أ) خريطة توضح جزر هاواى– الإمبراطور سيماونت وسلسلة من البراكين التى تغذيها بقعة حارة وتوقيع أعمارها المقدرة بالمواد المشعة. ونموذج خريطة أعمار البركان حركة لوح المحيط الهادى خلال الزمن الجيولوجى. (ب) قطاع مقطعى يوضح بقعة حارة (عين ساخنة) فى العمق حيث يرتفع الصخر الساخن من الوشاح خلال النطاق الانسيابى (أستينوسفير) ويمر خلال القشرة الأرضية على شكل ريشة من الصهارة تغذى البركان. ونظرا إلى استمرار حركة لوح القشرة الأرضية، فإن البراكين الجديدة تتشكل.



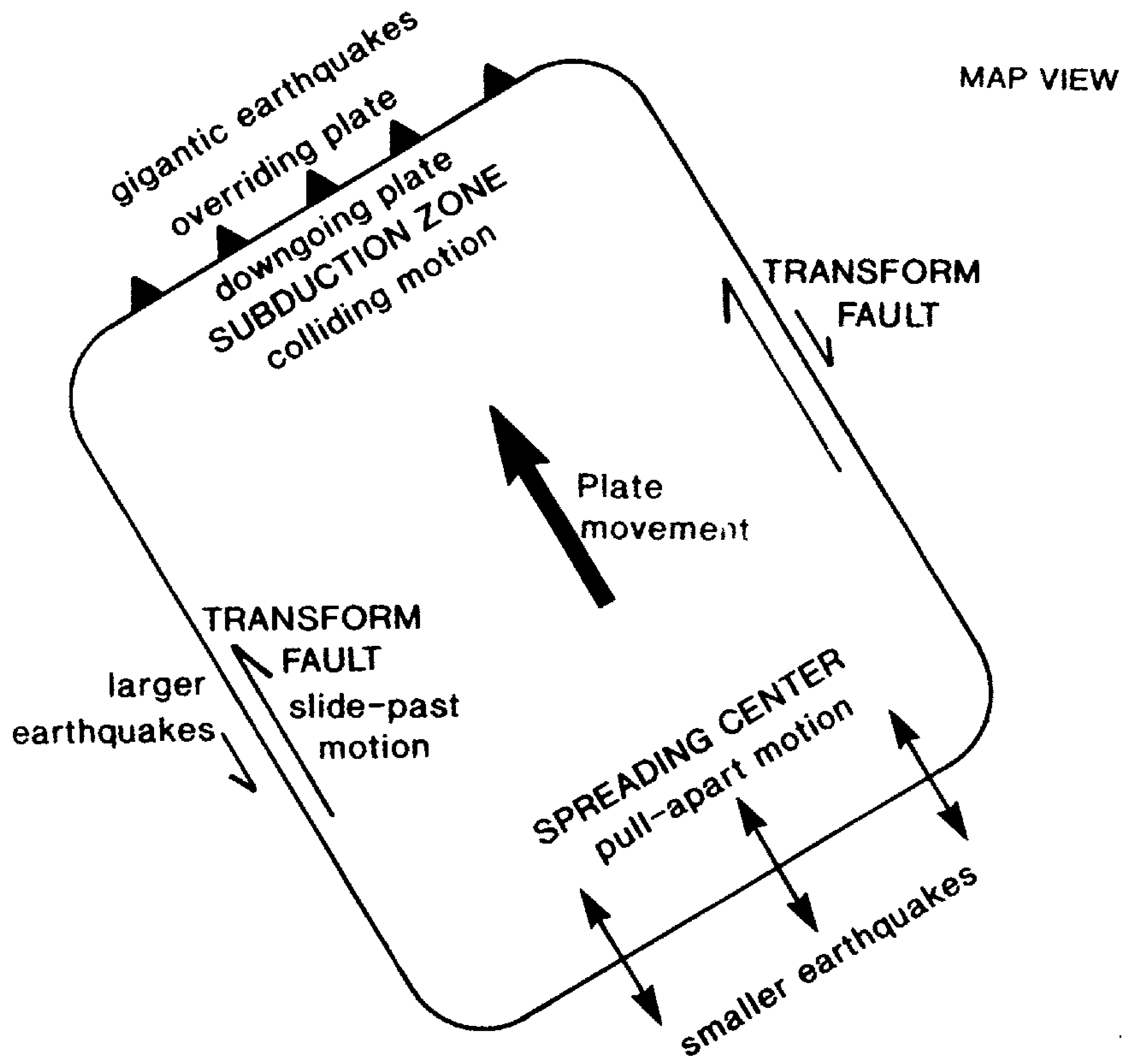
الشكل (٢ – ١٦) قطاع مقطعى للقشرة المحيطية عمودى على سلسلة الأعراف البركانية. فإذا ابتعدنا عن السلسلة وجدنا أن: (١) الأعمار المقاسة بالمواد المشعة للقشرة المحيطية تزداد، (٢) سمك الطبقات الرسوبية المتجمعة يزداد، (٣) أعمار الحفائر فى الرواسب تزداد. أما الزيادة المنتظمة فى عمق الماء فترجع إلى التبريد والتقلص والزيادة فى كثافة الصخور المعمرة فى قاع البحر.



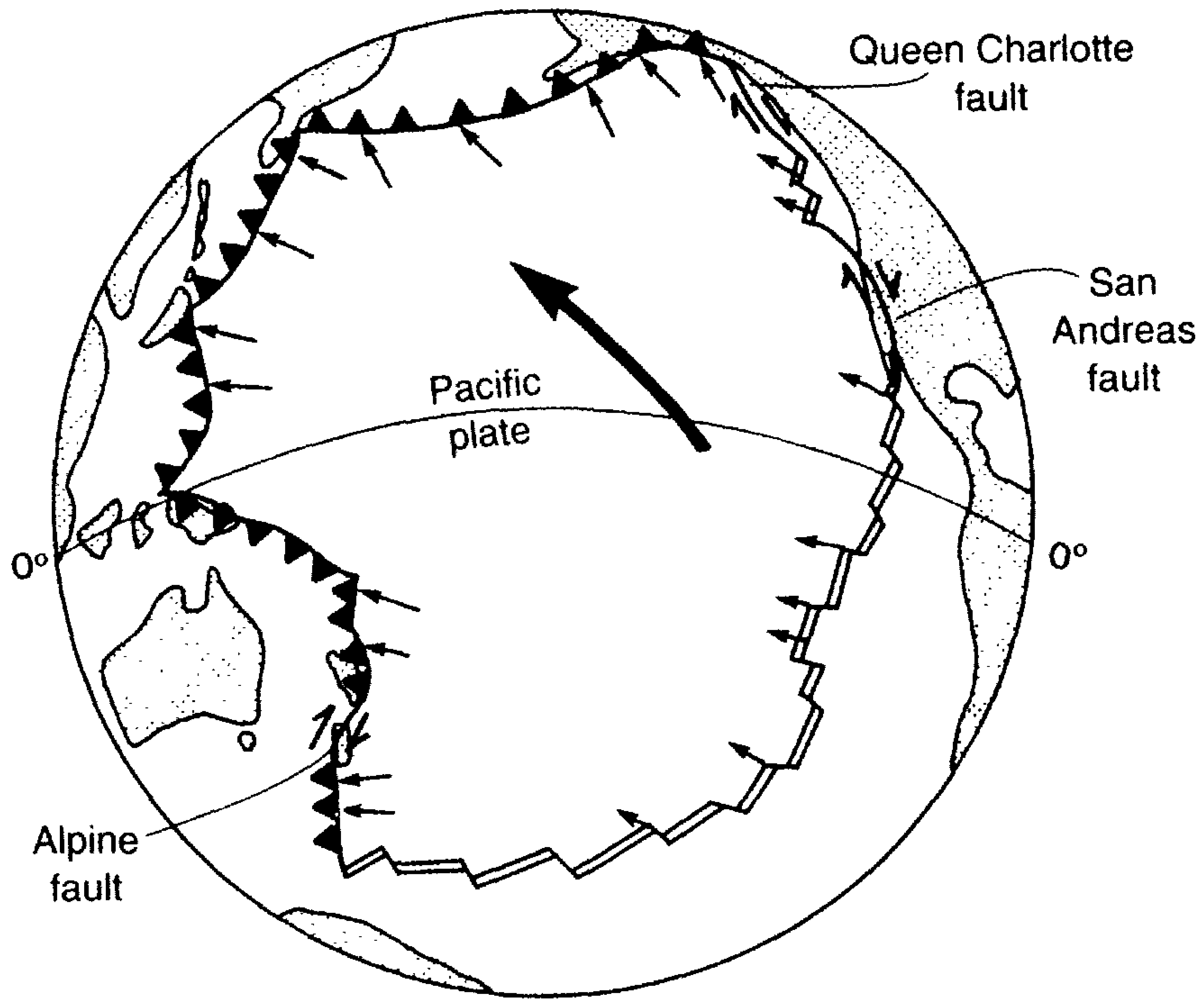
الشكل (٢-١٧) أم القارات بانجايا منذ ٢٢٠ مليون سنة من الآن. والقارات الحالية سُحِبَتْ لتمييزها بعد إعادة تجميعها. وأبو المحيطات في ذلك الوقت (بانثالاسا) يعرف الآن بعد أن تقلص بالمحيط الهادى.



الشكل (٢ – ١٨) رسم تخطيطي يوضح عمليات الألواح التكتونية في جزء من عالم اليوم. فالمحيط الأطلنطي يتسع نظرا للانتشار النشيط في سلسلة الأعراف البركانية في منتصف المحيط. وتركب قارة أمريكا الجنوبية المتحركة غربا فوق لوح المحيط الهادي المنضوي تحت المحيط الهادي: ويشكل ميل اللوح المنضوي إلى أسفل خندقا محيطيا عميقا.



الشكل (٢-١٩) تصوُر مثالى للوح واحتمالات حدوث الزلازل على حوافه.



الشكل (٢-٢٠) لوح المحيط الهادى هو أكبر ألواح العالم؛ ويقع تحت جزء من المحيط الهادى. وحوافه الشرقية والجنوبية فى معظمها مراكز انتشار تمتاز بزلازلها الصغيرة والمتوسطة الحجم. وتوجد على طول جوانبه فى كندا (كوين شارلوت)، وكاليفورنيا (سان آندرياس)، ونيوزيلاند (آلباين) صدوع تحويلية؛ تتميز جميعها بالزلازل الكبيرة الحجم. وتقع مناطق الانضواء على طول حوافه الشمالية والغربية، من آلاسكا حتى روسيا واليابان والفلبين وإندونيسيا ونيوزيلاند؛ وتتميز جميعها بالزلازل العملاقة.



الصورة (١) **الحرارة الداخلية فى جوف الأرض تزود الزلازل بالطاقة**. انهيار بناء سكنى فوق سيارات السكان فى كانوجابارك بولاية كاليفورنيا، أثناء زلزال نورثريدج فى ١٧ يناير ١٩٩٤.



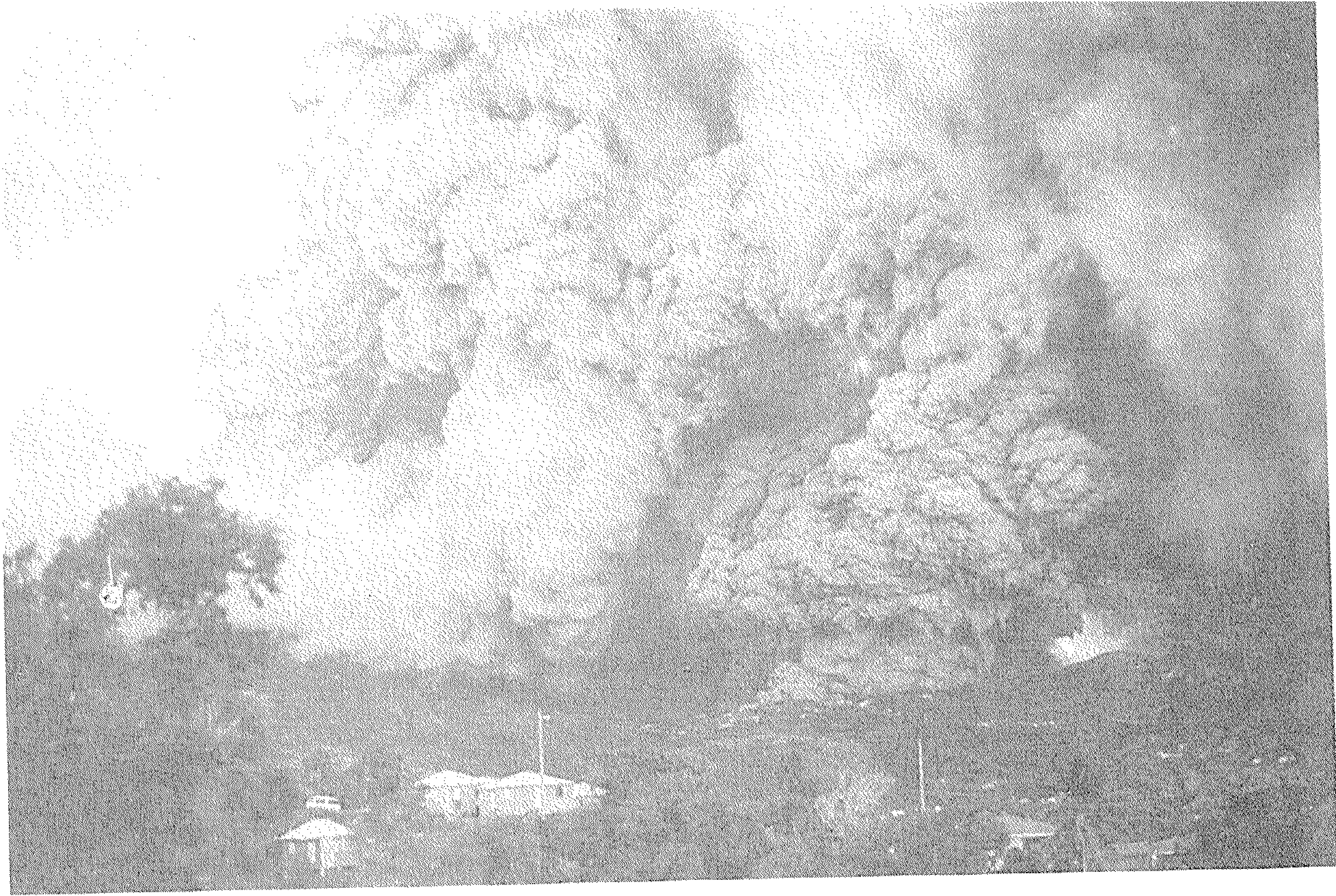
الصورة (٢) **الحرارة الداخلية فى جوف الأرض تزود الزلازل بالطاقة**. زلزال نمطى لا يتسبب فقط فى تدمير المبانى، بل يحدث الحرائق أيضا. قطاع فى مدينة كوبى فى اليابان يشتعل فى يوم ١٧ يناير ١٩٩٥ فى أعقاب زلزال قوته ٦.٩ قتل فيه ٦.٣٠٨ شخصا.



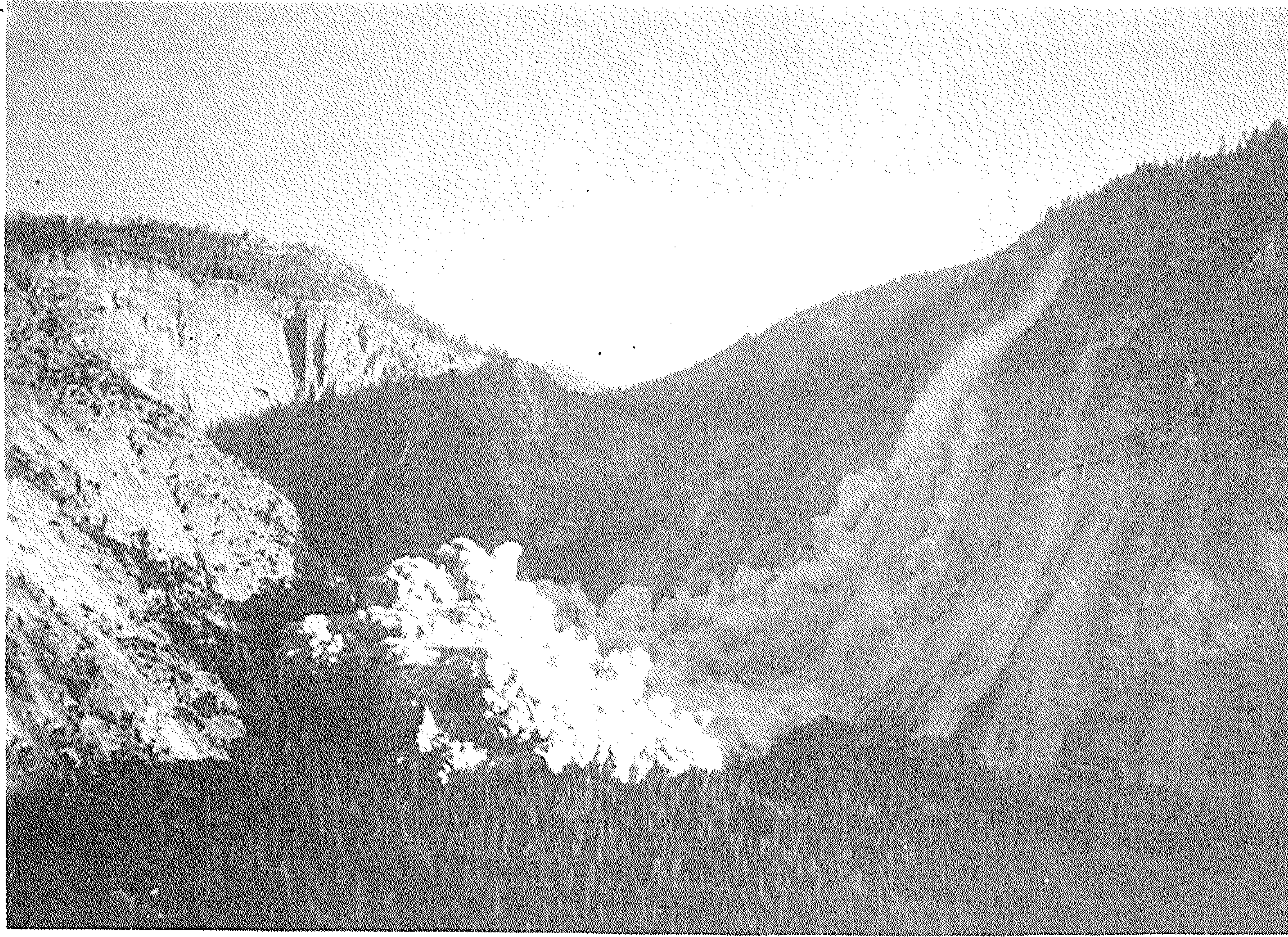
الصورة (٣) **الحرارة الداخلية فى جوف الأرض تزود الزلازل بالطاقة**. حتى الدعامات الضخمة المسلحة بالصلب والخرسانة لم تستطع حمل طريق كوبى – أوساكا العلوى أثناء زلزال عام ١٩٩٥. وانهيار هذا الطريق يؤكد صدق المقولة: «**إن الزلازل لا تقتل ولكن المبانى هى التى تفعل ذلك**».



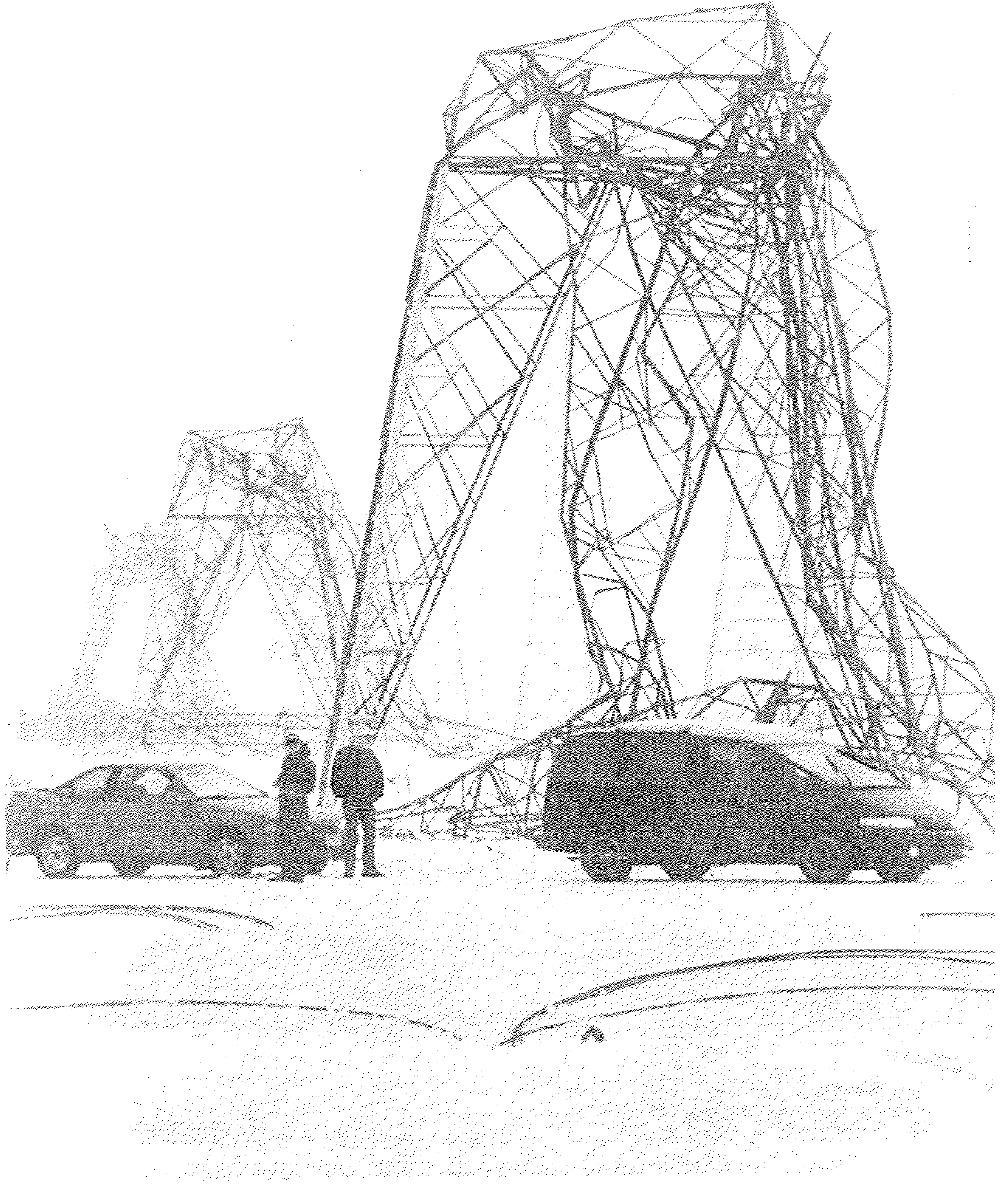
الصورة (٤) **الطاقة الداخلية للأرض تغذى البراكين**. بركان سوفريير هيلز يتوهج عندما تطفح منه الصهارة اللزجة وتتدفق إلى أسفل الجبل فى جزيرة مونتسيرات فى البحر الكاريبى فى يوم ٨ يناير ١٩٩٧.



الصورة (٥) **الطاقة الداخلية للأرض تغذى البراكين**. ثورة بركان سوفريير هيلز فى شهر يونية ١٩٩٧ بث تدفقات ركامية متفتتة من الصهارة المفتتة والغازات الفائقة الحرارة فى مدينة بلايموث فى مونتسيرات. ورغم أن المدينة أخليت من السكان فقد عاد ٢٤ شخصا إلى منازلهم ولقوا حتفهم من هذا التدفق.



الصورة (٦) **قوة سَحْب الجاذبية تُسْقط حوائط الجبال**. سقطت كتلة ضخمة من صخر الجرانيت الجاف وزنها ١٦٢,٠٠٠ طن تقريبا وتحطمت وتدحرجت خلال ميدان فسيح على أرض مغطاة بالأشجار في يوسيمايت ناشيونال بارك فى ولاية كاليفورنيا فى يوم ١٠ يوليو ١٩٩٦. ومما يثير الدهشة أن شخصا واحدا لقى مصرعه.



الصورة (٧) **الطاقة الخارجية المنبعثة من الشمس موزعة توزيعا غير عادل.** عاصفة جليدية ظلت ٨٠ ساعة تمطر مطرا جليديا غطى أبراج كهرباء الضغط العالى التى انهارت من كثرة أحمال الجليد كما هو واضح هنا بالقرب من سانت برونو جنوبى مونتريال فى كويبيك فى يوم ١٠ يناير ١٩٩٨. وكانت العاصفة الجليدية فى كناد فى ١٩٩٨ أعظم الكوارث الطبيعية المكلِّفة فى تاريخ كندا.



الصورة (٨) **الطاقة الخارجية المنبعثة من الشمس تغذى الطقس القاسى بما فيه الإعصار القمعى (تورنيدو).**
رعب التورنيدو.



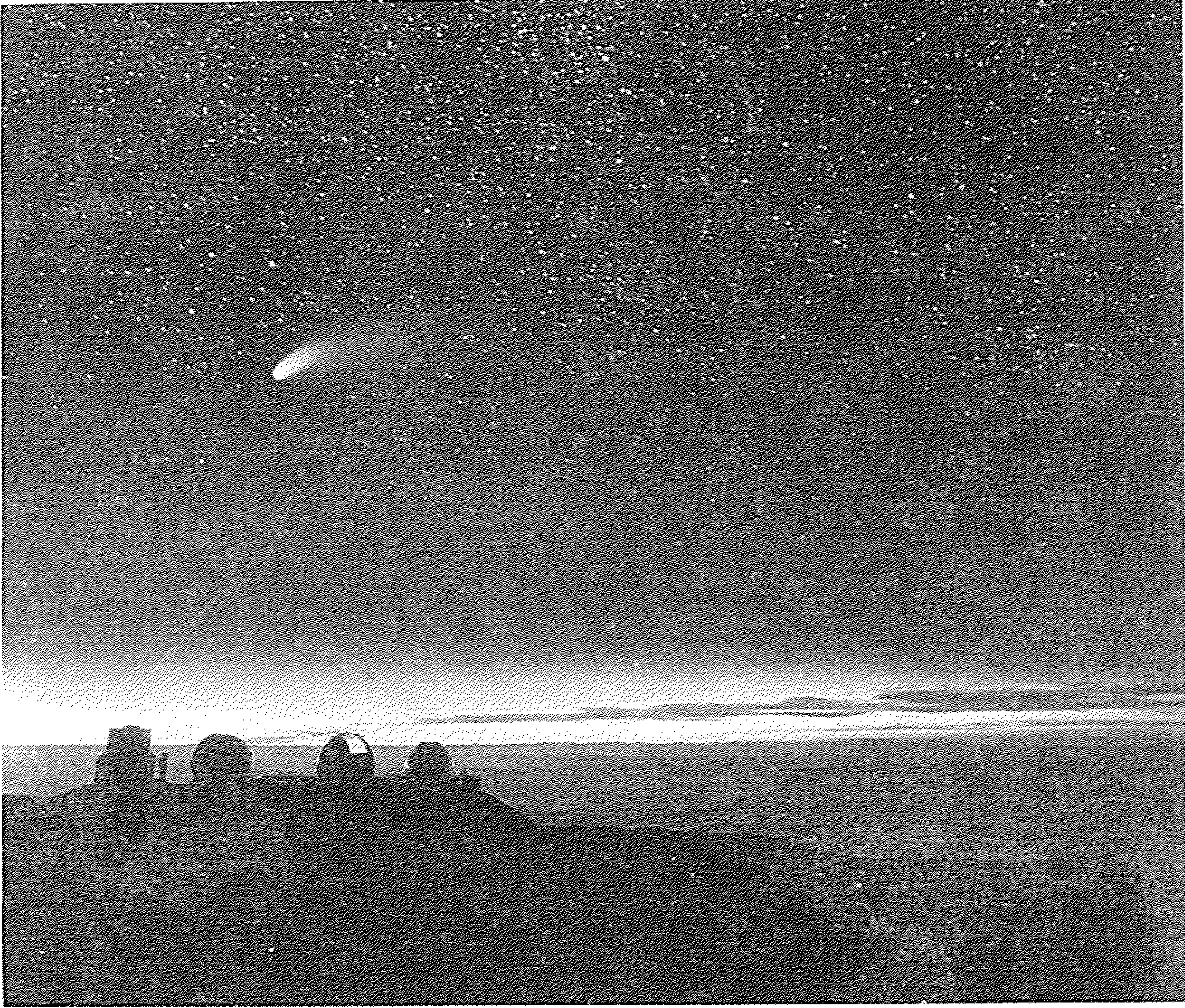
الصورة (٩) **الطاقة الخارجية المنبعثة من الشمس تغذى التورنيدو.** إعصار مدينة أوكلاهوما القمعى فى يوم ٥ مايو ١٩٩٩ خلَّف آثارا للتدمير فى مدينة ميدويست وقتل أكثر من ٤٠ شخصا وأثار رياحا ضربت الرقم القياسى فى السرعة التى بلغت ٣١٨ ميلا/ساعة.



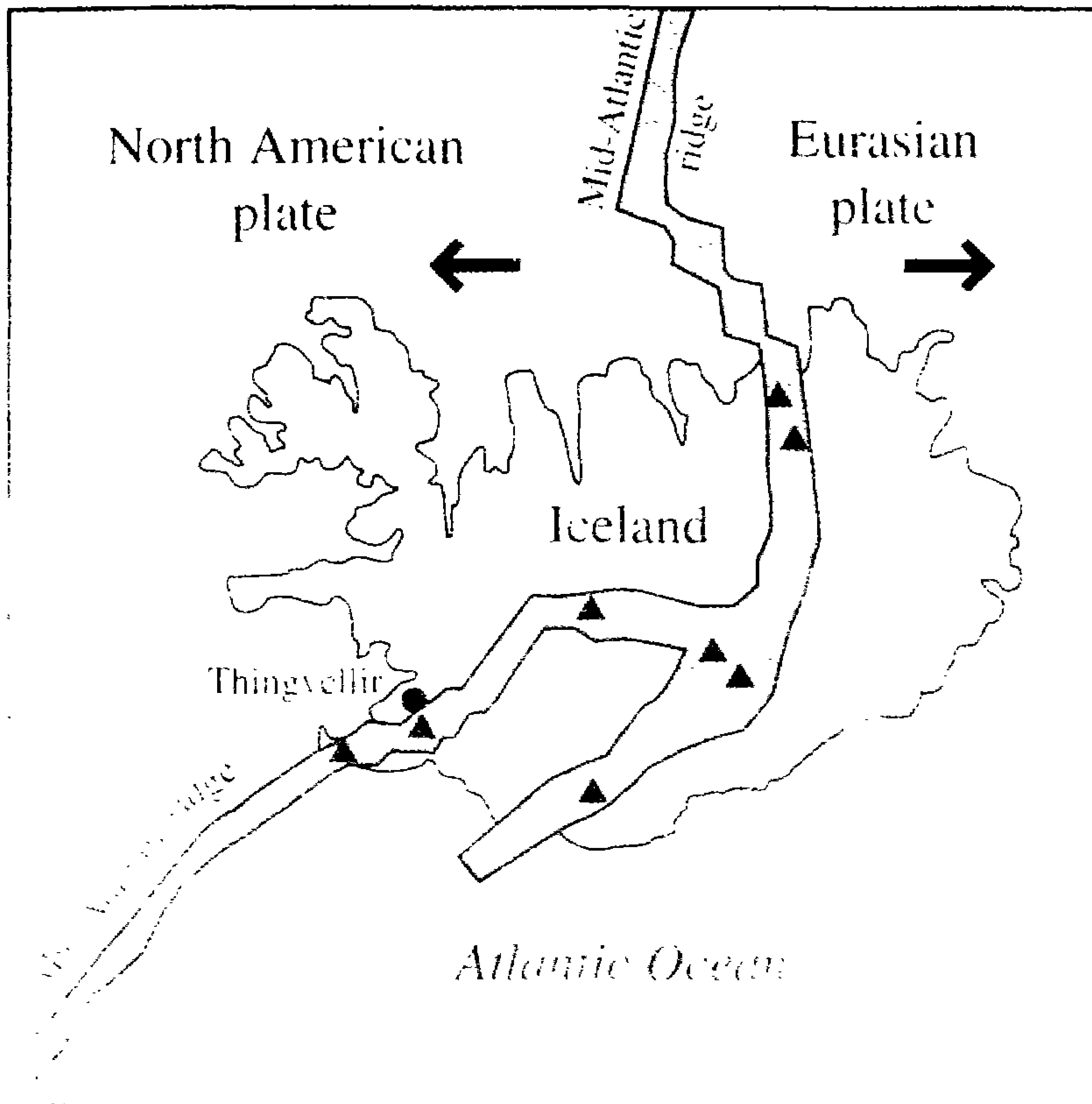
الصورة (١٠) الطاقة الخارجية المنبعثة من الشمس **تقوى الأعاصير الرعدية البرقية الممطرة (هوريكين) وتزيد أمطارها وفيضاناتها.**
[illegible] الذي حدث قبالة سواحل هوندوراس ونيكاراجوا من يوم ٢٧ حتى ٢٩ أكتوبر ١٩٩٨ محدثا رقما قياسيا في [illegible] فيها ١١،٠٠٠ نسمة. وتوضح الصورة المواطنين وهم يشاهدون فيضان نهر كولاتيكا في [illegible] ١٩٩٨.



الصورة (١١) **الطاقة الخارجية المنبعثة من الشمس تختزن فى النباتات ويمكن أن تخلصها منها الحرائق.** يرتفع اللهب مئات الأقدام فى الهواء عندما اندلع حريق عاصف فى ووكر رانش دون سيطرة عليه بالقرب من جبل فلاجستاف غربى بولدر فى ولاية كولورادو فى يوم ١٧ سبتمبر ٢٠٠٠. وشهد عام ٢٠٠٠ عدد ٦٦ من الحرائق الكبيرة التى اندلعت فى ١١ ولاية.

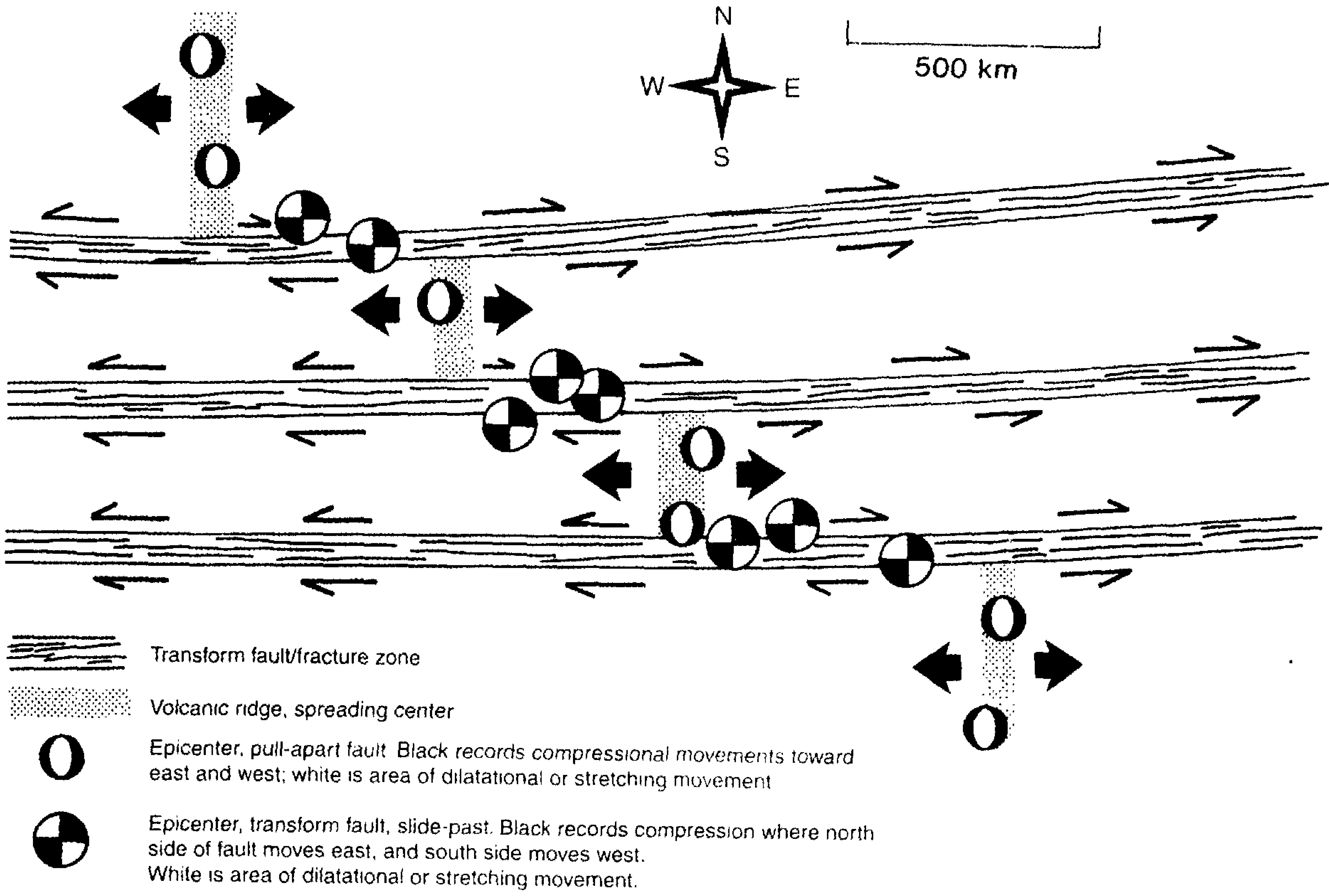


الصورة (١٢) **الكويكبات والمذنبات تستطيع أن تضرب الأرض وتدمر الحياة على نطاق واسع.**
المذنب هالى – بوب بالقرب من الأرض وهو يلمع فى شريط مضىء فوق قبة المنظار على ارتفاع ٤.٢٠٥ مترا فى موناكيا فى هاواى فى أوائل عام ١٩٩٧.

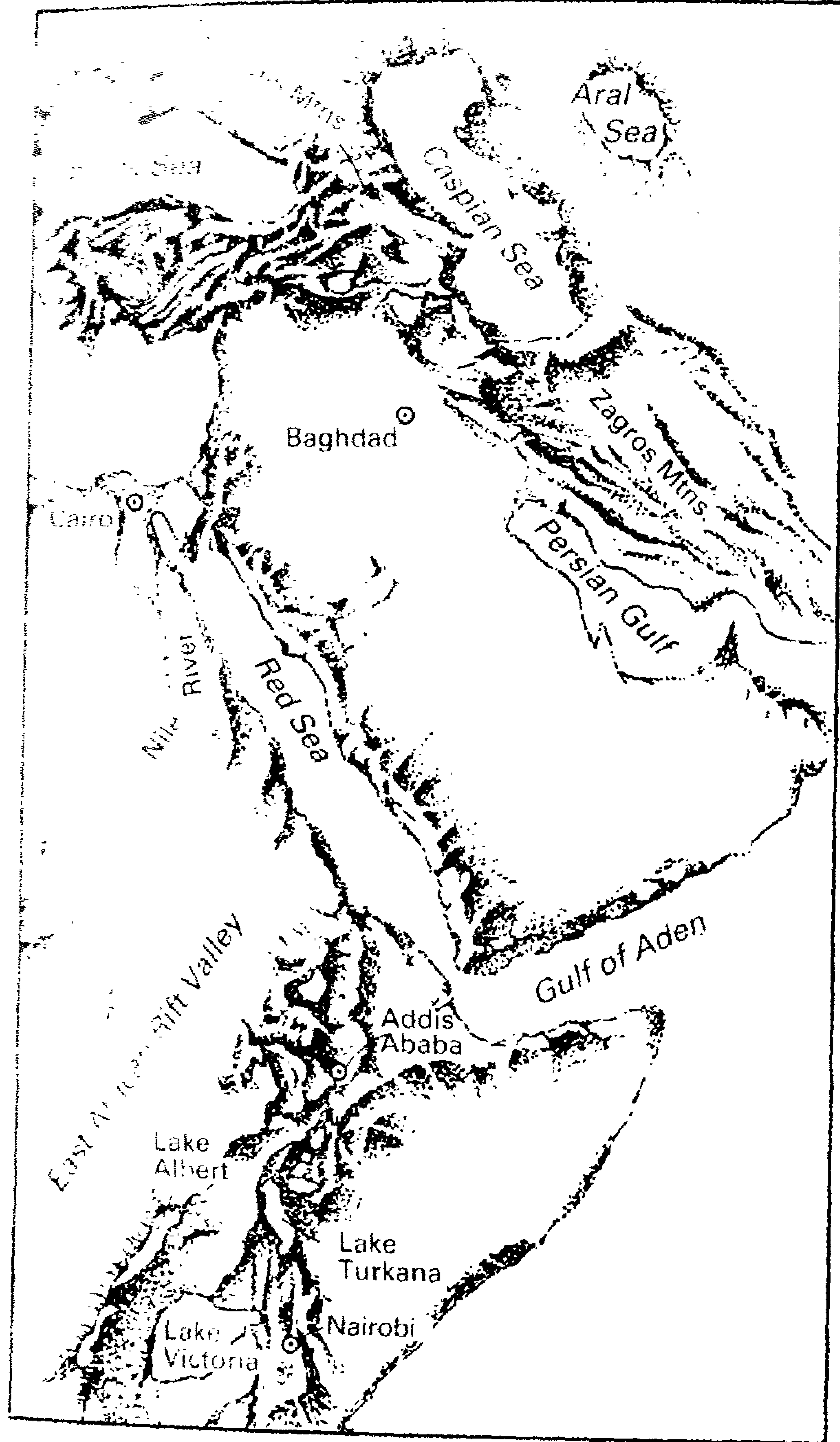

North American
plate
Eurasian
plate
Mid-Atlantic
ridge
Iceland
Thingvellir
Atlantic Ocean



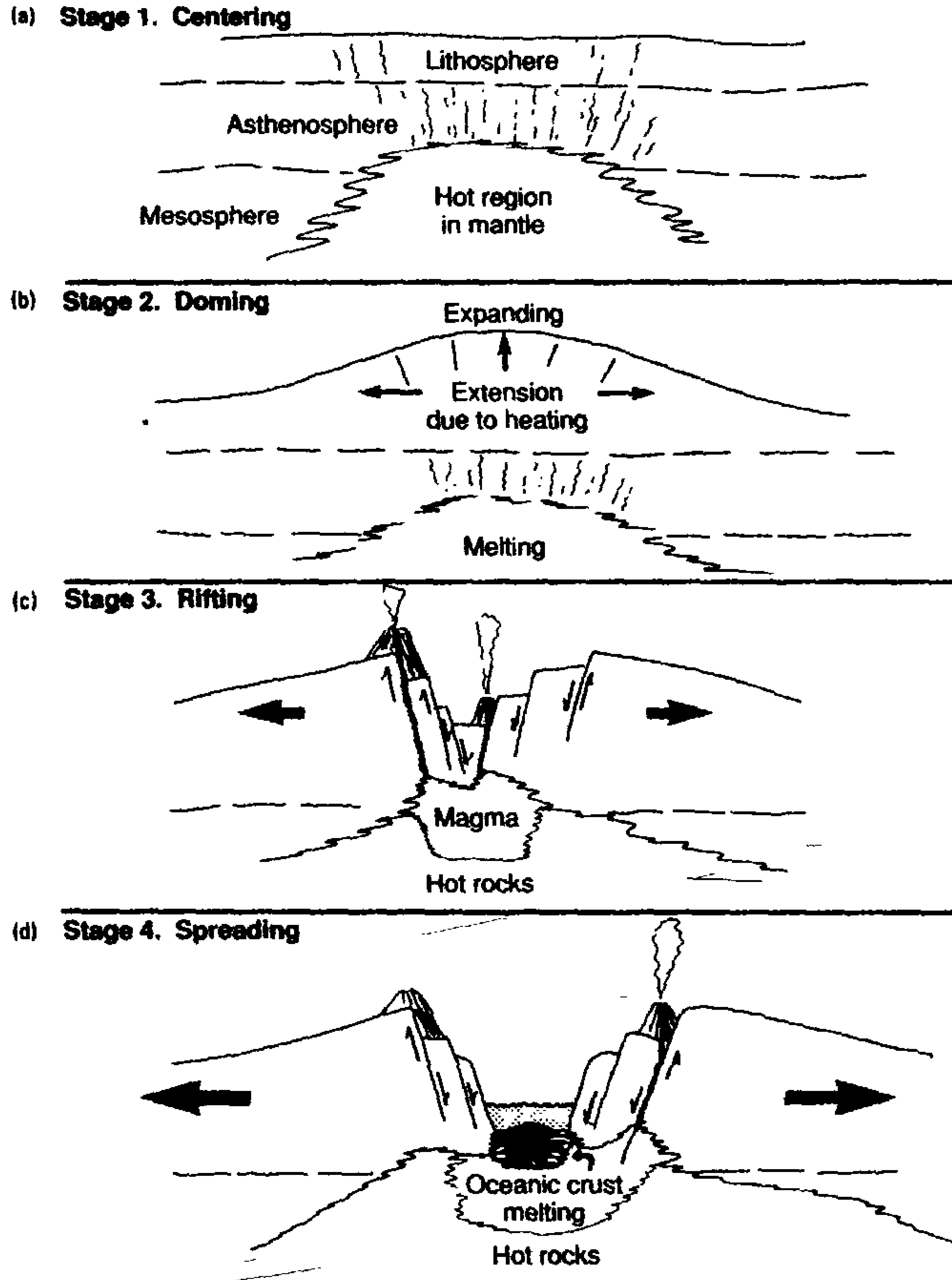
الشكل (٢-٢٢) انظر جنوبا على طول الشق فى ثينج فيللير، فى آيسلاند. فهذا هو وادى الأخدود تباعد طرفاه فى اتجاه شرقى وغربى باستمرار انتشار حوض المحيط الأطلنطى.



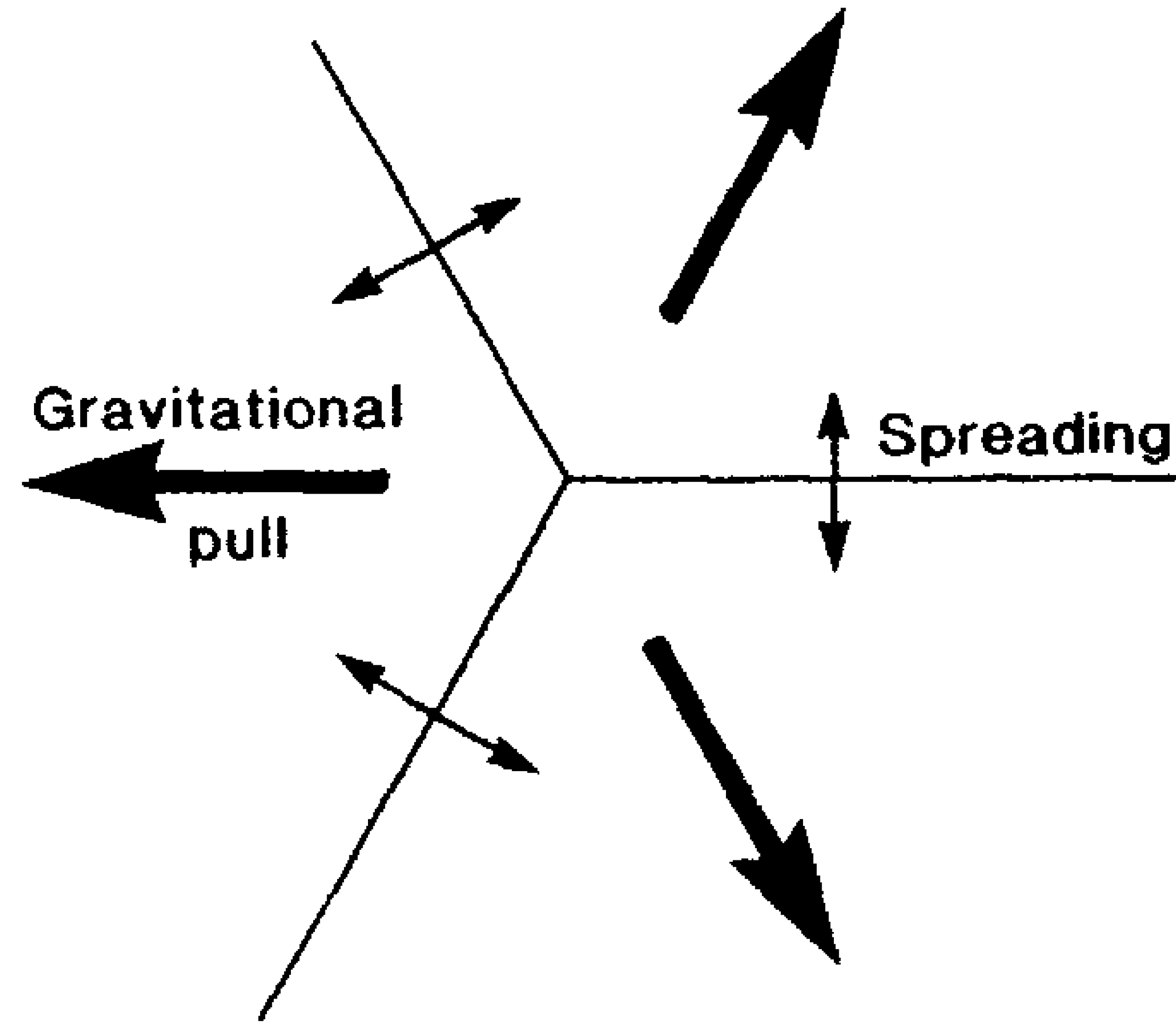
الشكل (٢-٢٣) مركز انتشار ذو زلازل متوسطة القوة ينتقل من صدع تحويلي اعتاد على الزلازل الكبيرة.



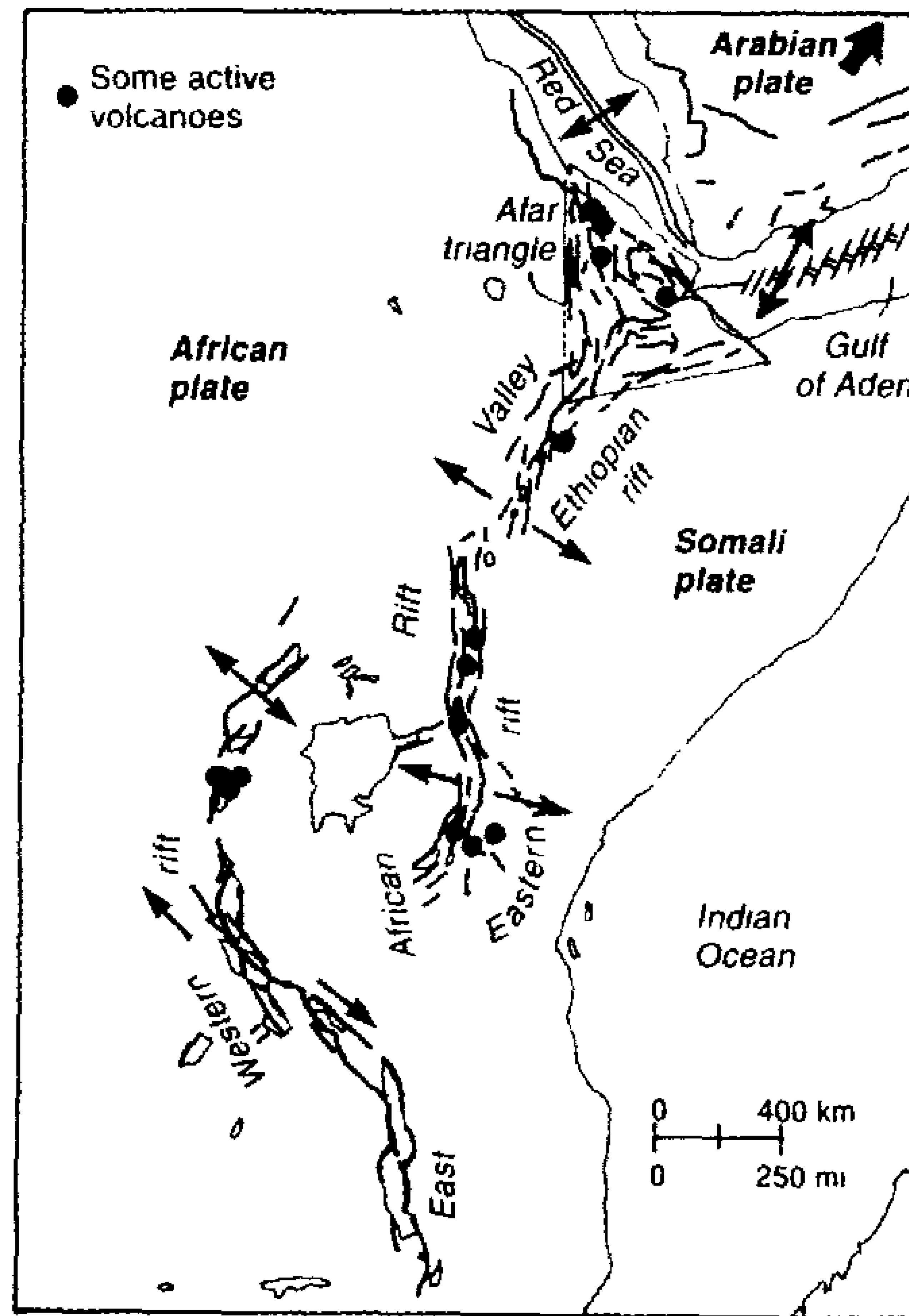
الشكل (٢-٢٤) تضاريس طبوغرافية فى شمال شرقى أفريقيا وشبه الجزيرة العربية.



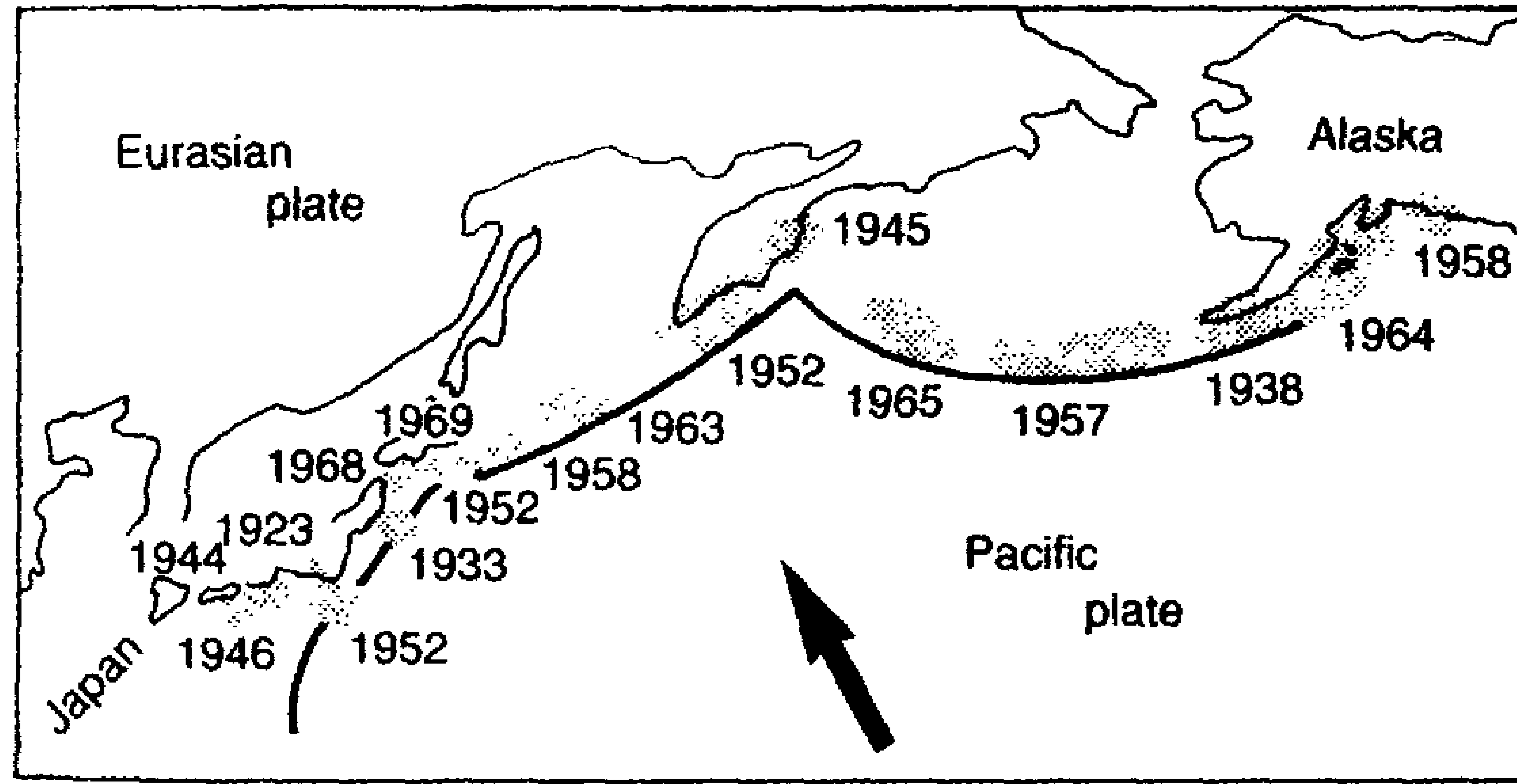
الشكل (٢-٢٥) مراحل تكوين حوض المحيط. (أ) **المرحلة ١، التمركز:** تحرك مراكز القشرة الأرضية فوق إقليم ساخن بصفة خاصة في الوشاح. (ب) **المرحلة ٢، التقبب:** تؤدى حرارة الوشاح إلى تمدد القشرة الأرضية/ المحيطية التى تعلوها. وبازدياد الحرارة يرتفع سطح القبة ويتمدد ويتشقق. (جـ) **المرحلة ٣، التشقق:** وبتمدد الحجم تسحب الجاذبية المنطقة المرتفعة بعيدا عن بعضها البعض؛ وتنهار الشقوق فتشكل صدوعا عادية. وتساعد الشقوق/ الصدوع علي خروج الصهارة؛ وتشيع البراكين. ثم تتدلى المنطقة المركزية للقبة إلى أسفل مشكلة واديا مثل وادى أخدود أفريقيا الحالى. (د) **المرحلة ٤، الانتشار:** بازدياد التباعد يتشكل قاع جديد للبحر. ويظهر معظم نشاط الصهارة فى انتشار قاع البحر، كما هو الحال فى البحر الأحمر وخليج عدن.



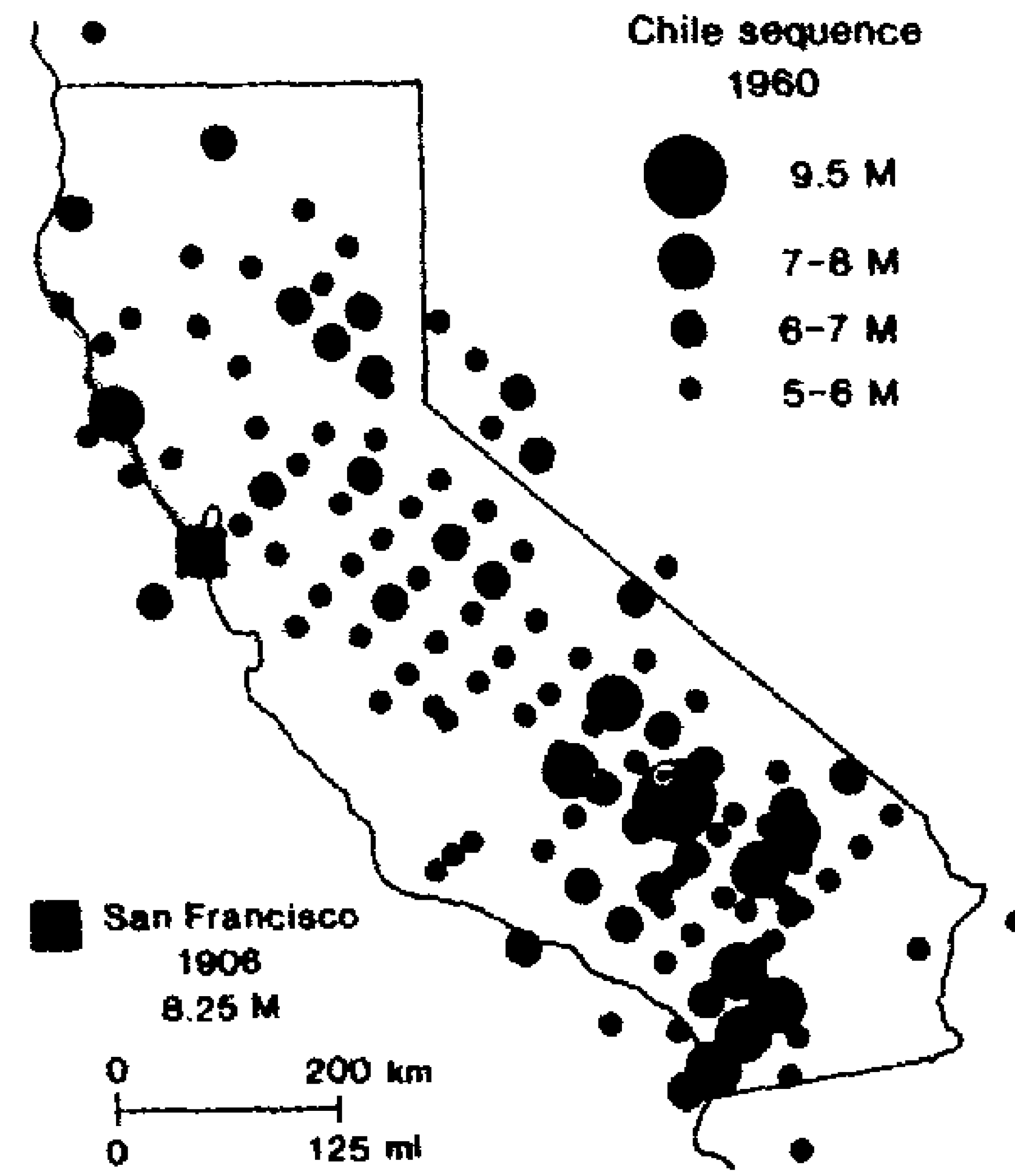
الشكل (٢-٢٦) خريطة تخطيطية لنقطة اتصال ثلاثية تشكلت من ثلاثة مراكز انتشار شابة. فالحرارة تتركز فى الوشاح وترتفع فى ريشة الصهارة، وتقبب القشرة الأرضية التى تعلوها وتؤدى إلى تشقق ذى ثلاثة أخاديد بنظام دائرى. وتسحب الجاذبية القبة فى تباعد محدثة انتشارا فى كل أخدود.



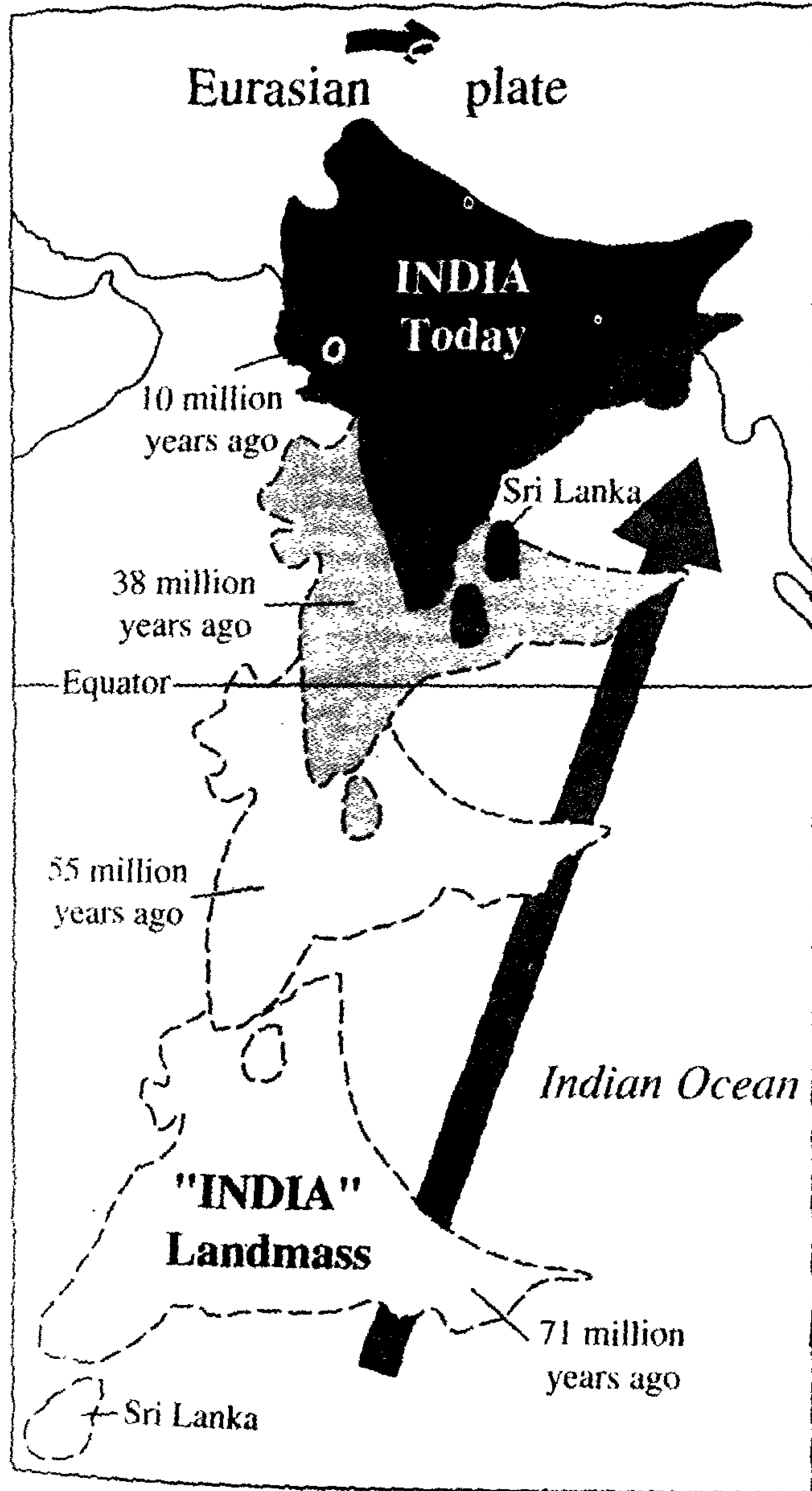
الشكل (٢-٢٧) تمزق شمال شرقى أفريقيا بفعل ثلاثة مراكز انتشار تلتقى فى نقطة اتصال ثلاثية فى مثلث آفار.



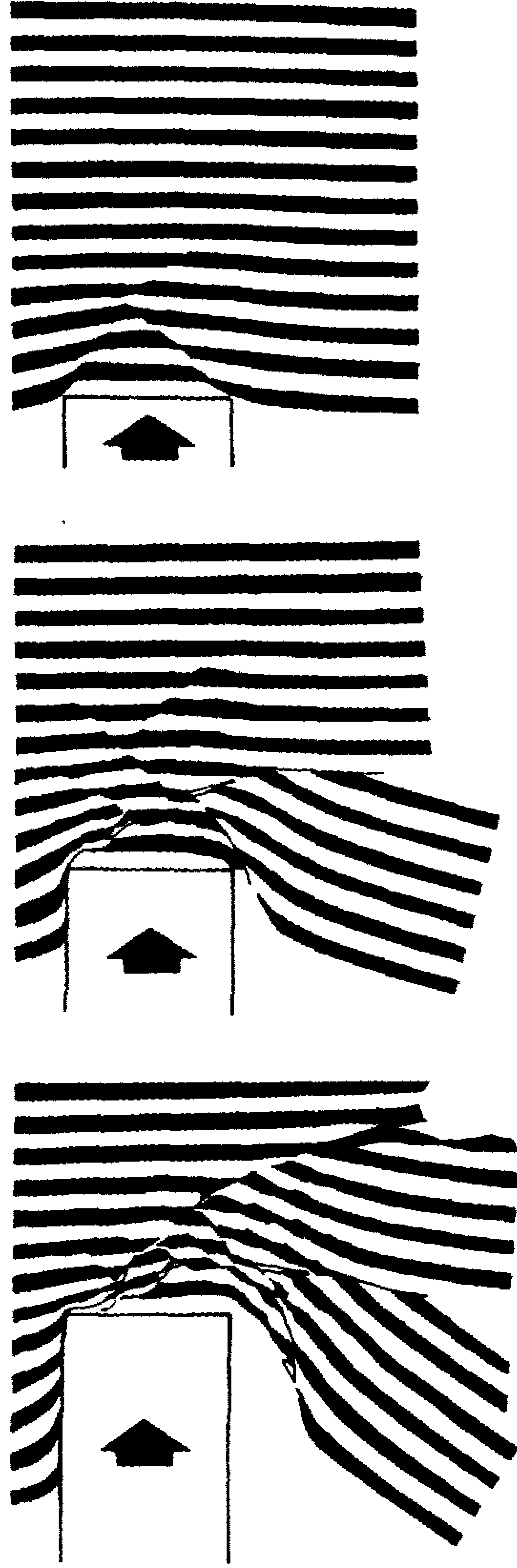
الشكل (٢-٢٨) المناطق المنقطة توضح المناطق التى اهتزت بعنف بالزلازل الموضحة تواريخها قرين كل منها جراء انضواء لوح المحيط الهادى. وباستخدام طريقة الثغرة الزلزالية اذكر أين توجد المناطق التى تزيد فيها احتمالات وقوع الزلازل القادمة؟



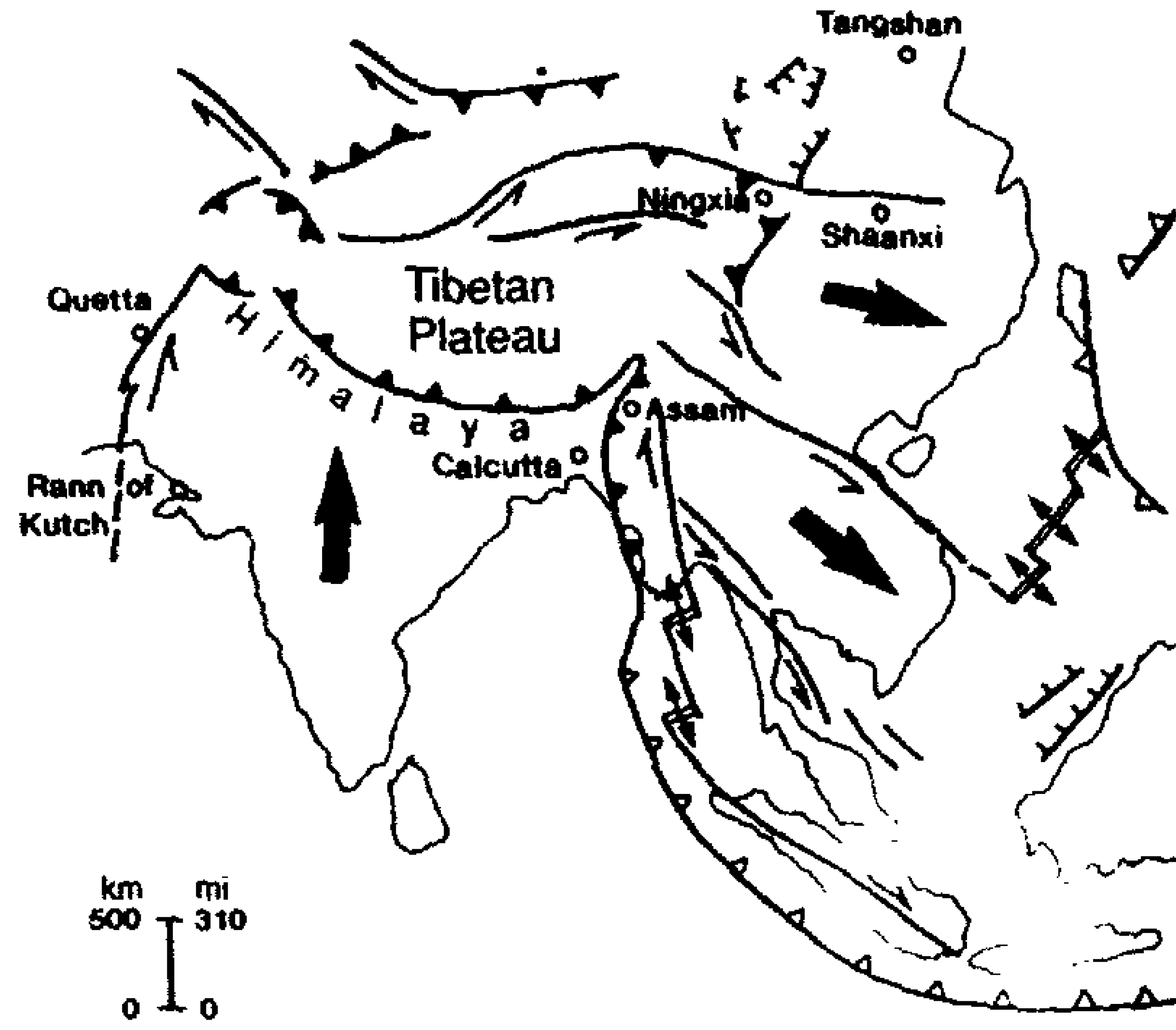
الشكل (٢-٢٩) رصد لمجموعة زلازل شيلى فى عام ١٩٦٠ وضعت بكثرة على كاليفورنيا لمقارنتها بالمناطق التى تأثرت بالزلازل الكبيرة التى وقعت فى مناطق الصدوع التحويلية ومناطق الانضواء. فزلزال سان فرنسيسكو فى ١٩٠٦ كان سببه شق طوله ٤٣٠ كم (٢٦٥ ميلا) من صدع سان آندرياس؛ وأثر على المنطقة الضيقة العليا فى أعلى اليسار (انظر النموذج المنقط). فسلسلة زلازل شيلى فى ١٩٦٠ كانت لها منطقة شق فى لوح الانضواء بطول كاليفورنيا وبعرضها تقريبا؛ فأثر على منطقة واسعة.



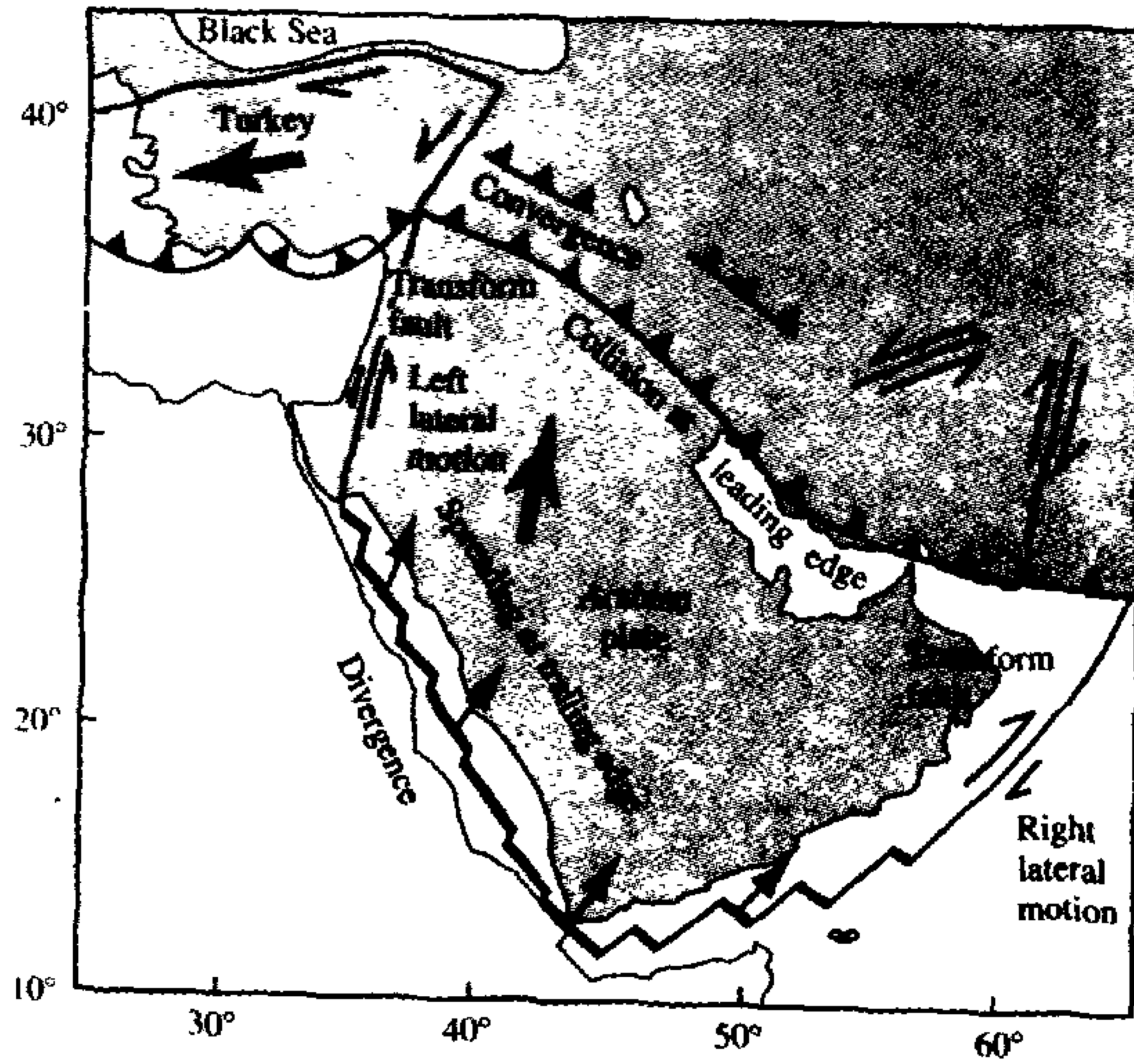
الشكل (٢-٣٠) خريطة توضح حركة الهند أثناء ٧١ مليون سنة الماضية. والهند مستمرة في التعشق في أوراسيا محدثة زلازل كبيرة على طول الطريق حتى الصين.



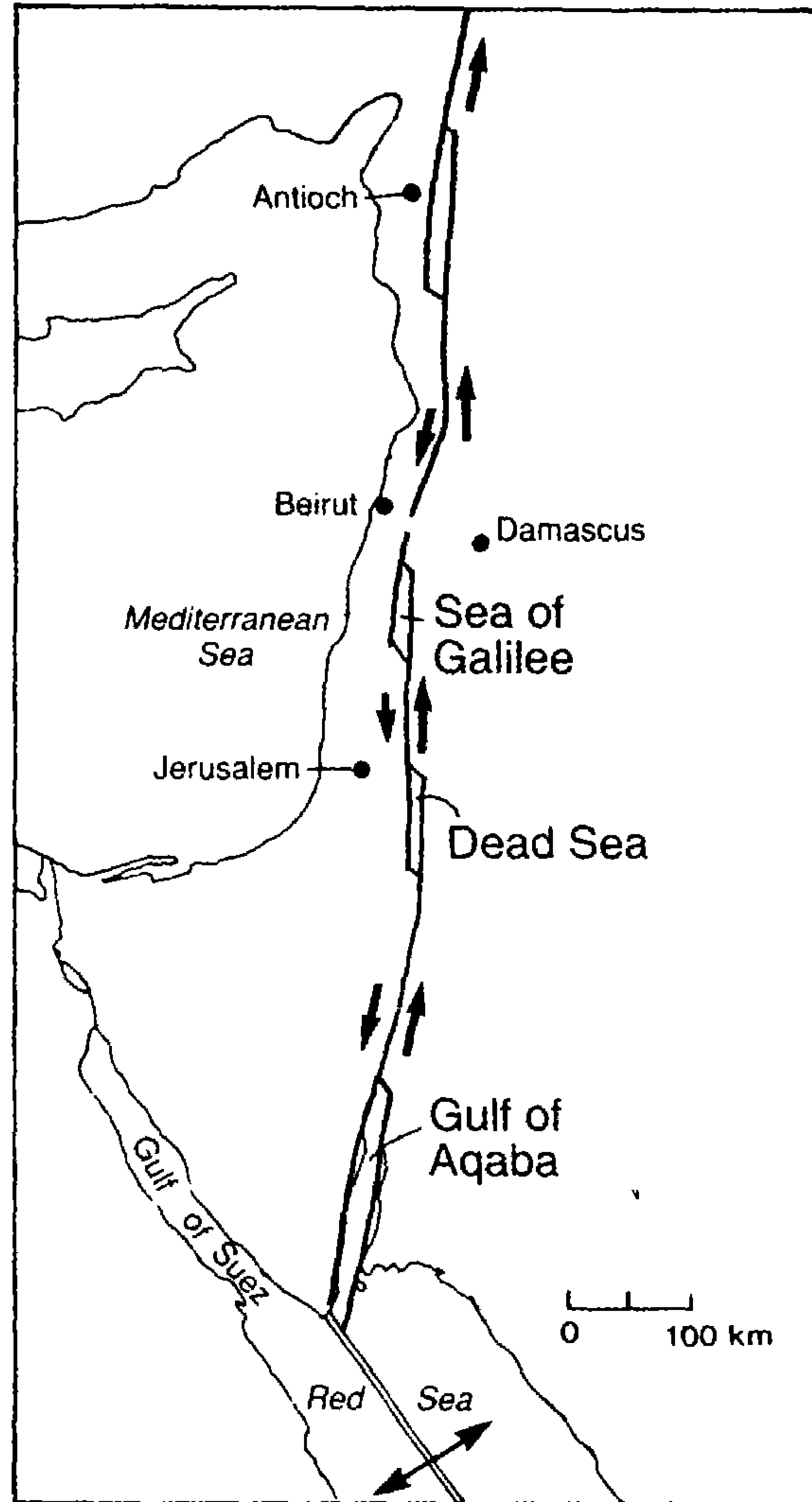
الشكل (٢-٣١) محاكاة لتصادم الهند مع آسيا. فالإسفين يندفع ببطء فى طبقة من الطين الصلصالى المقيد على جانبه الأيسر والحر الحركة على جانبه الأيمن. لاحظ من أعلى الشكل إلى أسفله الصدوع الكبرى التى تتشكل والكتل التى تضطر إلى الحركة إلى اليمين. قارن هذا النموذج بالخريطة التكتونية للهند وآسيا فى الشكل (٢-٣٢).



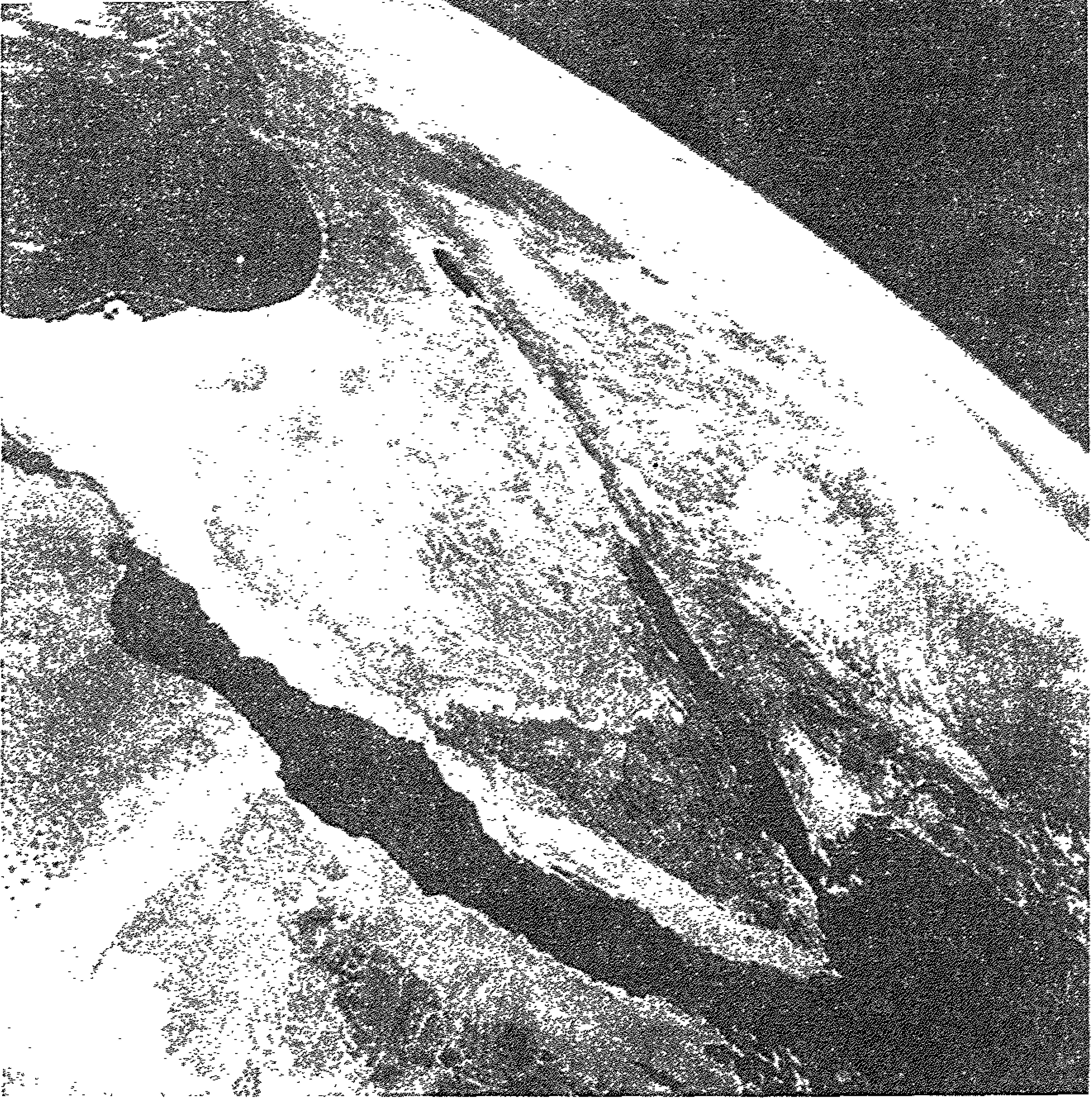
الشكل (٢-٣٢) خريطة تكتونية لإقليم الهند- الصين، نماذج الصدوع: (١) صدع مضرب منزلق وتوضح أسهمه اتجاهات الحركة، (٢) دسْر داخل القارة (صدوع معكوسة) ذات مثلثات سوداء مصمتة على الحواف الراكبة؛ (٣) مناطق الانضواء ذات المثلثات المفرغة على حافة الألواح الراكبة.



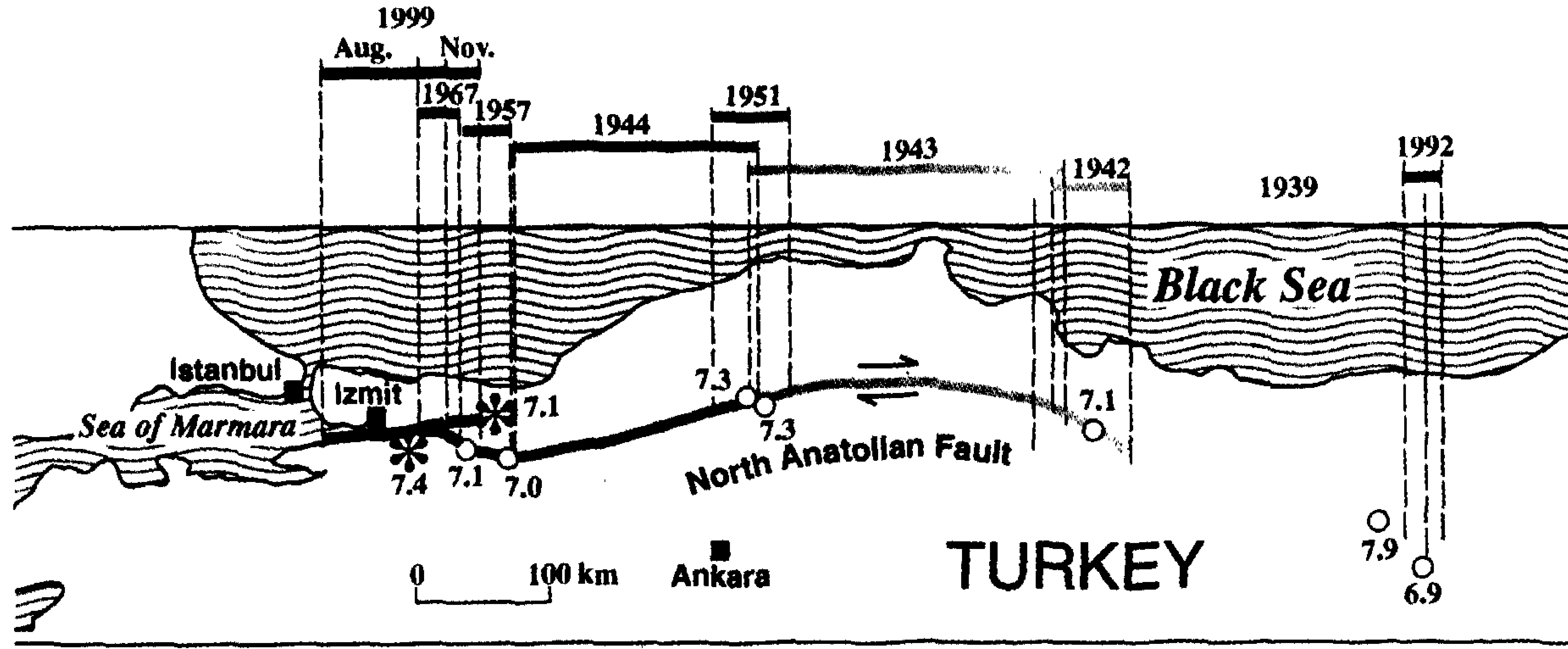
الشكل (٢-٣٣) لوح شبه الجزيرة العربية يتباعد عن أفريقيا ويندفع فى أوراسيا؛ ينزلق عند الأرض المقدسة في صدع تحويلى ويضغط على تركيا فى اتجاه الغرب.



الشكل (٢-٣٤) خريطة لمنطقة صدع البحر الميت. لاحظ الصدوع شبه المتوازية ذات الأحواض المتباعدة في الدرجات بين الصدوع. فحوض البحر الميت العميق: وسمك رواسبه ٧ كم (أكثر من ٤ أميال) تحت الماء. وفي يوم ٢١ نوفمبر ١٩٩٥ ضرب زلزال قوته ٧.٢ خليج العقبة فتسبب في حوادث قتل في مناطق تبعد حتى القاهرة في مصر.



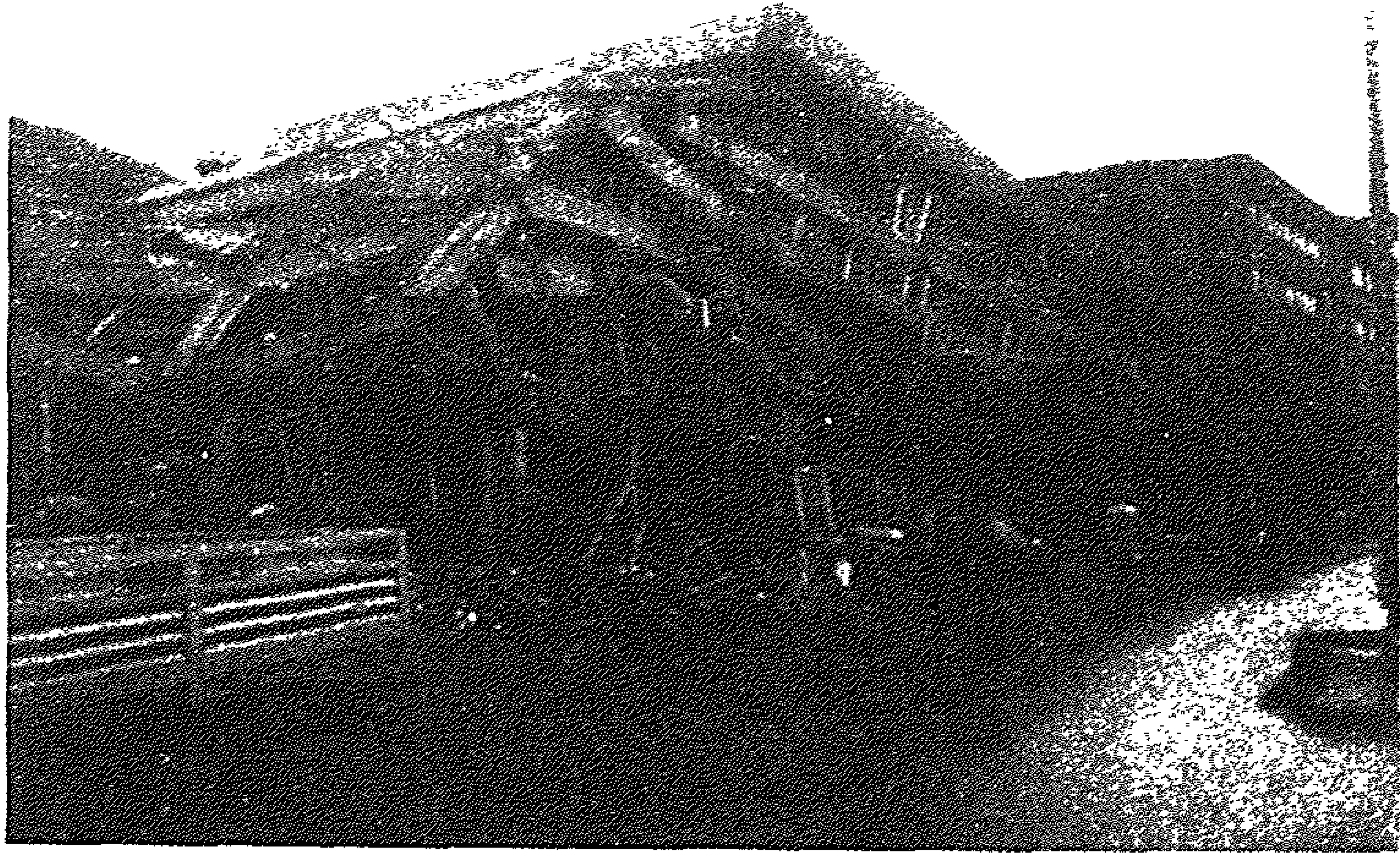
الشكل (٢-٣٥) صورة لصدع البحر الميت مأخوذة من مكوك الفضاء في يوم ١٤ يونية ١٩٩١. ويمر صدع البحر الميت من أدنى اليمين إلى أقصى اليسار.



الشكل (٢-٣٦) يستوعب صدع شمالى الأناضول حركة تركيا إلى الغرب فى حوض البحر المتوسط. لاحظ التسلسل الزمنى لتمزق الصدع. فماذا يحمل المستقبل القريب لإستنبول؟



الشكل (٢-٣٧) أرض مزقتها حركة صدع شمالي الأناضول من يمين مركز الصورة حتى مركزها في كايناسلي في تركيا في يوم ١٢ نوفمبر ١٩٩٩.



الشكل (٢-٣٨) مبنى ذو ستة طوابق انهار في دوشي في تركيا في يوم ١٢ نوفمبر ١٩٩٩ عندما انهارت دعامات حمله.

جداول الفصل الثانى

الجدول (٢-١) بعض الزلازل فى الأرض المقدسة.

Table 2.1 **Some Earthquakes in the Holy Land**

Year	Magnitude	Year	Magnitude
1927	6.5	1068	6.6
1834	6.6	1033	7.0
1759	6.5	749	6.7
1546	6.7	658	6.2
1293	6.4	363	7.0
1202	7.2	31 B.C.E.	6.3
		759 B.C.E.	7.3

Source: When the Walls Came Tumbling Down. (1991). [Video] Amos Nur, Stanford University.

مراجع الفصل الثانى

نصوص ومراجع مقترحة

Suggested Readings and References

Ambraseys, N. N., and Adams, R. D. (1989, 7 March). Long-term seismicity of north Armenia. *Eos*, 151–54.

Bolt, B. A., ed. (1980). *Earthquakes and Volcanoes: Readings from* Scientific American. New York: W. H. Freeman.

Boore, D. M. (1977, December). The motion of the ground in earthquakes. *Scientific American*, 69–78.

Cox, A., ed. (1973). *Plate Tectonics and Geomagnetic Reversals.* New York: W. H. Freeman.

Cox, A., and Hart, R. B. (1986). *Plate Tectonics: How It Works.* Palo Alto and Oxford, England: Blackwell Scientific Publications.

Dietz, R. S., and Holden, J. C. (1970). The breakup of Pangaea. *Scientific American*, 223, 30–41.

Glen, W. (1975). *Continental Drift and Plate Tectonics.* Indianapolis: Merrill.

Kearey, P., and Vine, F. J. (1990). *Global Tectonics.* Oxford, England: Blackwell Scientific Publications.

Molnar, P., and Tapponnier, P. (1977, April). The collision between India and Eurasia. *Scientific American.*

Press, F., and Siever, R. (1974). *Planet Earth: Readings from* Scientific American. New York: W. H. Freeman.

Richter, C. F. (1958). *Elementary Seismology.* New York: W. H. Freeman.

Stefansson, R. (1979). Catastrophic earthquakes in Iceland. *Tectonophysics*, 53, 273–78.

Tapponnier, P., Peltzer, G., LeDain, A. Y., and Armijo, R. (1982). Propagating extrusion tectonics in Asia. *Geology*, 10, 611–16.

Tarling, D., and Tarling, M. (1971). *Continental Drift: A Study of the Earth's Moving Surface.* Garden City, N.Y.: Doubleday.

Wyllie, L. A., Jr., and Filson, Jr., eds. (1989). Armenia earthquake reconnaissance report. *Earthquake Spectra*, special supplement.

Wyllie, P. J. (1976). *The Way the Earth Works.* New York: John Wiley and Sons.

Yong, C., Tsei, K., Feibi, C., Zhenhuan, G., Qujia, Z., and Zhangli, C., eds. (1988). *The Great Tangshan Earthquake of 1976.* New York: Pergamon Press.

الفيديو

Videos

Continental Drift and Plate Tectonics. (1988). University of California—Santa Barbara (20 min.).

The Earth Revealed—Birth of a Theory. (1992). Annenberg/CPB Project (30 min.).

The Earth Revealed—Plate Dynamics. (1992). Annenberg/CPB Project (30 min.).

Planet Earth—The Living Machine. (1986). Annenberg/CPB Project (60 min.).

When the Walls Came Tumbling Down—Earthquakes in the Holy Land. (1991). Amos Nur, Stanford University (56 min.).

Tibet: Where Continents Collide. (1989). Earth Vision (47 min.).

CD-ROM القرص الممغنط

Jones, A., Siebert, L., Kimberly, P., and Luhr, J. F. (2000). Earthquakes and Eruptions: Temporal and spatial display of earthquake hypocenters, seismic-wave paths, and volcanic eruptions. Smithsonian Institution, Global Volcanism Program, Digital Information Series, GVP-2.

A must have for classroom instruction and personal computer study.

الفصل الثالث

مبادئ أساسية فى جيولوجيا الزلازل وعلم الزلازل

وتقذف الطبيعة المريضة غالبا
أرضنا الحبلى... بثورات عجيبة،
بآلام المخاض والقولون والقَرْصِ العنيف
وتحبس الرياح الجامحات داخل بطنها
تلك التى تقاوم التضخمات
وتهز أرضنا التى تصير كالعجوز
وتطيح بأبراج الكنائس
وتهدم الجدران فى القلاع ذات أنواع الطحالب

ويليام شكسبير، ١٥٩٨

تتحرك الأرض تحت أقدامنا وتصرِّف الطاقة التى تنقل التربة وأحيانا تطيح بالمدن. وتبلغ بعض الزلازل من الضخامة ما يجعل طاقتها تعادل آلاف القنابل الذرية تُفَجَّر دفعة واحدة. وقدرة الزلازل على تدمير المنشآت البشرية وقتل أعداد هائلة من البشر وتغيير شكل الأرض تركت علامات لا تمحى فى كثير من الحضارات. وطبع العجز عن التنبؤ بالزلازل فى النفس البشرية تقديرا

صعبا وخوفا بحيث ساعدا خلال الألفية الماضية على تشكيل فكرة عن حياتنا وموقفنا منها.

وتبدو الروايات القديمة عن الزلازل ناقصة غير مكتملة. وبدلا من عرضها أوصافا قاسية عن طبيعة الأرض راحت تؤكد تفسيراتها لها. وعلى مدى ٢٠٠٠ سنة استندت عدة تفسيرات للزلازل على فكرة أرسطو القائمة على اندفاع الرياح تحت سطح الأرض. وحتى ليوناردو دافنشي كتب **فى مذكراته** فى عام ١٥٠٠ يقول:

> عندما تسقط الجبال منهارة فوق أماكن مجوفة فإنها تحبس الهواء فى هذه الكهوف الكبيرة؛ وهذا الهواء يسعى إلى أن يتصرف فيخترق الأرض، ويحدث زلزالا.

زلزال لشبونة فى ١٧٥٥

وحتى إلى عهد قريب لم تكن تطبق الطريقة العلمية فى وصف الزلازل. وكانت البرتغال فى القرن الثامن عشر وخاصة عاصمتها لشبونة، غنية بالثروة التى جمعها الرحالة من العالم الجديد. ولكن أفول نجم البرتغال بدأ بمجموعة من الزلازل. ففى صباح يوم ١ نوفمبر عام ١٧٥٥- فى يوم القديسين جميعا- انهارت لشبونة تحت وطأة عدة زلازل قريبة، مصدرها قبالة شاطئ المحيط الأطلنطى وإلى الجنوب الغربى. وفى هذا اليوم الدينى المشهود كانت الكنائس غاصة بالمصلين. وفى حوالى الساعة ٩,٤٠ صباحا بدأ يدوى رعد تحت الأرض أعقبته هزة أرضية عنيفة. واستمرت الحركة الأرضية العنيفة لمدة دقيقتين أو ثلاث؛ فأدت إلى إحداث خسائر فى المنازل والكنائس والمنشآت العامة فى هذه المدينة البالغ تعدادها ٢٥٠٠٠٠ نسمة. وكانت معظم كنائس لشبونة مبنية بمواد بناء ضعيفة، فانهارت فى الشوارع الضيقة وقتلت آلافا من الناس المحاصرين والفارين. وسقط السجاد على الشموع والمصابيح - وكل ما كان موقدا فى ذلك اليوم المقدس- فشبت الحرائق بلا مقاومة لمدة ستة أيام. وبعد ساعة من الشلل الذى أصاب لشبونه، ضربها زلزال ثان أعنف من سابقه ولكنه أقصر عمرا. وفى هذه

الحالة من الذعر توجه كثير من الناس المرعوبين فرارا من الزلزال الأول نحو الشاطئ طلبا للأمان، ولكن أمواجا بحرية عاتية سببها الزلزال اجتاحتهم بلغ ارتفاعها ١٠ أمتار (أكثر من ٣٠ قدما). وهذه الحوائط المائية المتدفقة على اليابسة حملت معها الزوارق وسفن الشحن وألقت بها على اليابسة على بعد نصف كيلو متر من الشاطئ. وعندما انحسر ماء البحر سحب معه حطام المنشآت المدمرة بفعل الزلزال والغرقى إلى المحيط. وعند الظهيرة ضربت لشبونة هزة أرضية أخرى من آثار زلزال كبير حدث على بعد ٥٥٠ كم (٣٤٠ ميلا) بالقرب من مدينة فز فى المغرب. وأحدث الزلزال الثالث كثيرا من الخسائر والتدمير فى شمالى أفريقيا مثلما أحدثت الزلازل السابقة فى لشبونة. فدُمِّرت فز وعدد أصغر منها من المدن وتهدمت كل من الجزائر وطنجة. وفى لشبونة قتل الزلزالان السابقان أكثر من ٧٠,٠٠٠ مواطن ودمرا وخربا بشدة حوالى ٩٠٪ من المنازل والكنائس. ولهذا أحدث الزلزال الثالث فى لشبونة قليلا من التدمير ولكنه أرهب الناجين كثيرا (الشكل ٣-١).

وامتدت آثار سلسلة زلازل لشبونة إلى أبعد من المدينة المدمرة. فتقول تقديرات عالم الزلازل الأمريكى هارى فيلدنج ريد فى عام ١٩١٤ أن أكثر من ٣٪ بقليل من سطح الأرض اهتز بشكل محسوس. وتكبدت المنشآت الواقعة على مسافة ٦٠٠ كم (٣٧٥ ميلا) من مصدر الزلزال خسائر. ولم تضرب الأمواج البحرية العملاقة التى ولَّدها الزلزال الساحلَ البرتغالى فحسب، بل سجلت ارتفاعات أقل فى شمالى أفريقيا والجزر البريطانية وهولندا. وحتى فى جزر الهند الغربية فى المحيط الأطلنطى تراجع البحر ثم تقدم لمدة ساعتين ونصف بأمواج ترتفع إلى ٤ أمتار (١٣ قدما). وتدل التقديرات الحديثة على أن قوة الزلزال كانت حوالى ٨,٧ .

وفى الوقت الذى حدثت فيه الزلازل كانت لشبونة غنية بشكل مذهل بسبائك الذهب، وبالجواهر والتجارة، وكانت لها أهمية تجارية وثقافية كبيرة. وكانت المدينة كذلك مقرا لديوان التحقيق القضائى. وكان الدمار الذى لحق بهذه المدينة الشهيرة من جرَّاء الزلازل وما صاحبها من أمواج بحرية وحرائق تمثل صدمة لا مثيل لها للحضارة الغربية. ولم تكن الخسائر فى الأرواح والمبانى فادحة فحسب، بل حولت الحرائق كذلك المكتبات التى لا تعوض والخرائط والمخططات لاكتشافات الرحالة البرتغاليين ولوحات كبار الرسامين من أمثال تيتيان وكوريجيو وروبينز إلى رماد.

ويبدو الأمر غامضا لدى الكثيرين حين يحدث مثل هذا الدمار فى يوم مقدس حيث كانت الكنائس غاصة بالمصلين المؤمنين. ولكن الآخرين مثل راعى الكنيسة جون ويزلى يعتقدون أن هذه الزلازل ما هى إلا عقاب يكفِّر عن الخطايا. فقد قال فى موعظته:

لقد أتى! فالسقف يرتعد! والكمرات تنشرخ! والأرض تهتز. رائحة قادمة! وصوت الرعد الأجش يدوى فى أحشاء الأرض! وكل هذه بدايات للمحن. والآن أين المغيث؟ وما الحكمة القادرة على منعه؟ وما المقاومة التى تقاوم الضربة؟ وأى مال يستطيع شراء ما نسميه إنقاذا ولو مؤقتا لمدة ساعة؟ أيها الشريف المسكين، أين ألقابك اليوم؟ أيها الثرى، أين الآن إلهك الذهبى؟ فإذا كان هناك ما ينفع، فهو الصلاة. ولكن لمن تكون الصلاة؟ لا لإله السماء: فأنت تفترض أنه ليس فى مقدوره شىء يفعله للزلازل؟

ولتهدئة المذعورين فى لشبونة طلب المحافظ المؤقت سيباستيان دى كارفاللو المكلف بإزالة الأنقاض وبإعادة البناء المساعدة فى إنهاء التحذيرات المستمرة من القساوسة للمواطنين بأن المزيد من غضب الرب سوف يلحق بهم.

واعتبر الفيلسوف الألمانى إيمانويل كانت الزلازل ظاهرة طبيعية، وطلب من الناس التزام الحكمة وعدم البناء فى المناطق التى تحدث بها الزلازل. ونظر المفكر الفرنسى جان جاك روسو كذلك إلى الزلازل على أنها أحداث طبيعية، وأعلن أن المظاهر الصناعية للحضارة (مثل المبانى الحجرية) هى التى تسبب الوفيات؛ أى أن الناس البسطاء الذين يعيشون فى العراء لن يتأثروا بالزلازل. وأنشد الشاعر الفرنسى فولتير قصيدة موثرة عن زلزال لشبونة، نقتبس منها ما يلى:

قل لى بحقٍّ أىُّ ميزة تحققت لنا جميعا،

من الدمار باعث الأسى على أطلال لشبونة.

وهل تؤكد حينذاك أن قوة الخلق التى

صاغت بهذا الكون قانون الحياة..

لم تستطع أن توجد الإنسان فى مكان آمن
بعيدا عن زلازل الأرض التى تدمر البشر؟
وهل يحد ذلك الأسى بهذا القدر تدبير القدر؟
أليس الأمر يستوحى من الرحمن رحمة بهم؟
فليت الله غيَّر من قوانين الطبيعة!
بما للخالق العظيم من موارد ومن قوى!
وإننى لأرجو الله مخلصا له الرجاء
أن يدير دفة النيران والدخان من الخليج
إلى الصحارى القاحلة، لكى تخف وطأة النيران الغاضبة.
بكل الحب والعرفان يطلب الإنسان رحمة ربه
إذا حاقت به الضراء، والخراب أثقل كاهله
لا من قبيل الكبرياء؛ بل من صميم المعرفة
وليت هذه الأبيات تسترد الاطمئنان
إلى المواطنين الأشقياء، على شواطئ الكوارث!

فكارثة لشبونة كانت سلسلة من الزلازل التى لا تنسى بصفة خاصة نظرا لعنفها، ولحجم الخسائر التى نجمت عنها وعدد الأرواح التى فقدت فيها والمنطقة الواسعة التى شعرت بها. والأمواج البحرية المدمرة البعيدة المدى والمسافات الطويلة التى تهيجت فيها المياه والزمان والمكان اللذان حدثت بهما. وَقَبل هذا الحدث كانت أوروبا تعيش فى جوٍّ من الرخاء والطمأنينة فى العالم المتحضر. فزلازل لشبونة فعلت أكثر من تخريب مدينة، إذ غيرت الأفكار السائدة فى المنطقة. فكل شىء فى العالم أصبح غير مطمئن.

وعلى الرغم من الآثار العميقة التى أحدثتها هذه الزلازل فى الحضارة لعدة قرون، فالنظريات العلمية لم تبدأ حتى باكورة القرن التاسع عشر، عندما وضعت مواصفات جيدة لتأثير الزلازل على الأرض. واليوم، بعد مرور أقل من قرنين زادت معرفتنا بالزلازل زيادة هائلة. فلدينا مفهوم شامل عن الزلازل، ما هى ولماذا تحدث وأين تقع ومقدارها ومعدل تكرارها فى موقع معين. وبياناتنا العلمية ونظرياتنا تسمح لنا بفهم هذه الظواهر التى عجزت عن فهمها أو التلميح عنها أعظم العقول الماضية. تلك هى ثمار البناء الهرمى للمعلومات التى نسميها العلم.

ما الزلزال؟

كلمة زلزال مصطلح يعبر عن ذاته بفاعلية - فزلزلة الأرض تعنى اهتزازها وشعورنا بالاهتزاز. وربما نتجت الزلازل عن نشاط بركانى أو ارتطام النيازك أو انزلاقات أرضية تحت الماء أو انفجار القنابل الذرية؛ وأكثر من ذلك شيوعا أنها تنتج عن حركات أرضية مفاجئة على طول الصدوع. والصدع شق أو شرخ فى الأرض يتحرك فيها الصخر على كلا جانبيه قبالة بعضهما (الشكل ٣-٢). وتتجمع الضغوط فى الصخور القريبة من السطح حتى يزيد الإجهاد عن طاقة احتمالها فتتكسر الصخور وينتقل الإجهاد على طول الصدع. أما موجات الصدمة التى تنبعث من الصخور المتكسرة وتتحرك فهى ما نشعر به كزلزال. والمشهد التصويرى المماثل هو ما نألفه عندما نقذف بحجر على سطح ماء راكد. فالصخر الذى يضرب الماء يحدث اضطرابا عنيفا وقصيرا يبعث بموجات الصدمة لتنتشر بعيدا عن موقع الصدمة. وبالمثل، يفرغ الكسر فى الصدع طاقته المركزة حيث يتحرك الصدع، إلى جانب أنه يبث عدة موجات نمطية للصدمة تنتشر لمسافات بعيدة عن الاضطراب.

الصدوع ورسم الخرائط الجيولوجية

يُعتبر إدراك القرن التاسع عشر أن حركة الصدوع تسبب الزلازل تطورا أساسيا أحدث موجة جديدة وشاملة فى الفكر. فوضع علماء الجيولوجيا هذه العلاقة فى أذهانهم ونزلوا إلى الميدان يرسمون الخرائط للصدوع، التى تحدد بدورها أحزمة المخاطر من الزلازل.

ونظرا إلى أن الصدع يحرك طبقات الصخور المستمرة من قبل بعيدا عن بعضها البعض، فإن الرسم الدقيق للخرائط لمختلف الكتل الصخرية يمكن أن يحدد خطوطا واضحة تفصل الأجزاء المتفرعة فى الكتل الصخرية المنعزلة. وهذه الخطوط الواضحة تعبر عن الصدوع السطحية.

وتبدأ المبادئ التى تساعدنا على فهم الصدوع بتوضيح بعض العلاقات التى أمكن التعرف عليها مسبقا بين الصخور والتى لا تزال مفيدة حتى الآن. وكثير منها صاغها العالم الفيزيائى الدنماركى نيلز ستينسن، الذى عمل فى إيطاليا واشتهر باسمه اللاتينى ستينو. ففى عام ١٦٦٩ وضع عدة قوانين أساسية فى تفسير التاريخ الجيولوجى. فقانون التسطح الأفقى الأصلى يشرح كيف تترسب الرواسب (الرمال والحصى والطين) أو تستقر فى الماء فى طبقات أفقية. وهذا القانون مهم نظرا إلى أن بعض طبقات الصخور الرسوبية القديمة وُجِدَت على زوايا تتراوح بين الأفقية والرأسية. ولكن منذ أن عرفنا أنها بدأت تترسب فى طبقات أفقية فإن تاريخ تشوهها بعد زمن الترسيب يمكن تحديده بالتفكير فى إعادة توجهاتها إلى المستوى الأفقى (الشكلان ٣-٣ و٣-٤).

وقرر ستينو فى قانون التطابق أن سلسلة من الطبقات الصخرية الرسوبية غير المشوهة تتراصف فوق بعضها بحيث تترسب الطبقات المتتالية فوق الطبقات السابق ترسيبها أى الطبقات الأقدم. وعلى ذلك فإن كل طبقة صخرية رسوبية تعتبر أحدث من الطبقة التى تحتها ولكنها أقدم من الطبقة التى فوقها (الشكلان ٣-٣ و٣-٤).

ويقرر قانون ستينو للاستمرار الأصلى أن الطبقات الرسوبية مستمرة ولا تنتهى إلا عند هيئة طبوغرافية عالية مثل التل أو الجرف حيث تَفْنَى؛ نظرا لعدم توافر

الرواسب أو بالتحول التدريجى من نموذج رسوبى إلى آخر. وهذه العلاقة تمكننا من تقدير عدم التوافق فى طبقة الصخور الرسوبية التى تنتهى فجأة. ولابد أن يكون هناك حدث جعلها تنتهى. فمثلا، يمكن لنهر أن يحاتها أو صدع يحركها. ويمضى علماء الجيولوجيا وقتا طويلا فى تحديد أماكن وتشعبات طبقات الصخور التى كانت مستمرة مسبقا. وبهذه الطريقة يمكننا تحديد أطوال الصدوع وتقدير قوة الزلازل التى تحدثها.

ونستطيع بمقياس أكبر أن نوجد التفرعات للصدوع الكبيرة والنشيطة منذ زمن بعيد. ويوضح الشكل ٣-٥ خطا واضحا يقطع الأرض فى اتجاه الشمال الشرقى - الجنوب الغربى؛ وذلك هو صدع آلباين فى الجزيرة الجنوبية فى نيوزيلاند.

وظل الجانب الغربى (الأيسر) يتحرك ٤٨٠ كم (٣٠٠ ميل) نحو الشمال. وفى مقاطعة أوتاجو فى القطاع الجنوبى من الجزيرة الجنوبية اكتشف الذهب فى عام ١٨٦١ فى حصى النهر (الشكل ٣-٦). وأدى هذا إلى اندفاع الناس نحو الذهب؛ فجلب المنقبين عن الذهب وخبراء المناجم من جميع أنحاء العالم. وتحركت الآن حمى الذهب التى جذبت كثيرا من الباحثين عن الثروة فى كاليفورنيا فى عام ١٨٤٩ إلى نيوزيلاند. ونبش المنقبون عن الذهب مجارى الأنهار حتى المنابع بحثا عن مصدر الذهب. ولكن الكثير من الثروة كان يقع على بعد ٤٨٠ كم إلى الشمال الشرقى فى مقاطعة نيلسون، حيث تناثرت الكتل الصخرية الحاملة للذهب على طول صدع آلباين منذ أكثر من ٢٣ مليون سنة من حركات الصدع. ويوضح لنا هذا المثال، أن دراسة الصدوع تهيئ لنا أفكارا هائلة تمكننا من تحديد مواقع الثروة المعدنية.

نماذج من الصدوع

عندما تنزلق الألواح التكتونية متباعدة ومتصادمة، وعندما ترتفع الجبال وتهبط الأحواض. تتجاوب الصخور الهشة فى القشرة الأرضية بالتمزق (بالانفصال أو بالتشرخ). وعندما تولِّد القوى الإقليمية إجهادا كبيرا متباينا فى الصخور على كلا جانبى التمزق، تحدث الحركة ويصبح التمزق صدعا. وتتراوح الحركات المتراكمة فى

الصخور على طول الصدع من الملليمترات حتى مئات الكيلومترات. ويمكن أن تؤدى هذه الحركات إلى ميل وطى طبقات الصخور الرسوبية الأفقية فى الأصل فى تنويعات متعددة من الاتجاهات. ولكى يصف خبراء الجيولوجيا أوضاع طبقات الصخور المشوهة أو سطح الصدوع أو أية هيئة أخرى بأبعادها الثلاثة أجروا قياسات تعرف بالميل(*) والمضرب(**). فالميل يرى المنظر الرأسى ذى البعدين (قطاع مقطعى) على أنه زاوية الميل عن المستوى الأفقى لطبقة الصخور المنحدرة واتجاه الميل (الشكل ٣-٧). والمضرب يرى المنظر الأفقى ذى البعدين (الخريطة) على أنه زاوية اتجاه البوصلة للطبقة الصخرية حيث تخترق المستوى الأفقى.

ولتصنيف الصدوع يستخدم خبراء المناجم القدماء بعض الاصطلاحات؛ إذ تشكلت الكثير من عروق الخامات المعدنية فى مناطق الصدوع القديمة. ولهذا تتكون الكثير من المناجم من سراديب (ممرات) حفرت على طول الصدوع القديمة الخاملة. والخامات شائعة على طول الصدوع لأن الكتل الصخرية عندما تتحرك قبالة بعضها فى منطقة الصدع تتولد قوى احتكاكية هائلة تعمل على تحطيم وسحق الصخور فى منطقة الصدع. ويشكل الصخر المحطم فى منطقة الصدع ممرا ذا نفاذية يمكن الماء من التدفق خلاله. فإذا حمل الماء الجوفى تركيزات من المعادن المذابة، انتشرت على شكل عناصر أو معادن قيمة فى منطقة الصدع. ويسمى قدامى خبراء المناجم العاملين فى حفر مناطق الصدوع الأرضية التى يسيرون عليها بالجدار السفلى(***) والصخور الواقعة فوق رءوسهم بالجدار العلوى (المعلق)(****) (الشكل ٣-٨). وهذه الاصطلاحات

(*) ميل dip = inclination هو الزاوية الواقعة بين اتجاه شدة المجال المغنطيسى للأرض فى مكان ما وبين مستوى الأفق فى ذلك المكان. ويطلق أيضا على ميل الطبقات. (**معجم الجيولوجيا**- المترجم)

(**) مضرب strike اتجاه الخط المكون من تقاطع سطح طبقة مع المستوى الأفقى، والمضرب عمودى على الميل. (**ما هى الجيولوجيا؟**- المترجم)

(***) الجدار السفلى footwall كتلة الصخر تحت مستوى الصدع أو العرق أو الحمولة أو طبقة الخام. (**معجم الجيولوجيا**- المترجم)

(****) الحائط المعلق hanging wall الصخور التى أعلى المستوى المائل للصدع. (**ما هى الجيولوجيا؟** المترجم)

تستخدم فى تعريف النموذجين الأساسيين للصدوع اللذين تسود فيهما الحركة الرأسية - صدوع الميل المنزلقة.

صدوع الميل المنزلقة

تحدث الصدوع ذات التشعب الكبرى فى اتجاه الميل أو الاتجاه العمودى بسبب قوى السحب أو الدفع. وتتميز الصدوع ذات القوى السائدة التوسعية بانفصال طبقات الصخور المتباعدة فى منطقة التباعد (الشكل ٣-٩). ويحدث الصدع العادى عندما يتحرك الجدار العلوى إلى أسفل نسبيا نحو الجدار السفلى. ولم يكن اختيار كلمة عادى لتسمية هذا النموذج من الصدوع مناسبا نظرا إلى أنه يحمل دلالة على الاعتياد كما لو كان نموذجا نمطيا أو اعتياديا لحركة الصدع؛ ولكن الواقع ليس كذلك. فنماذج الصدوع التوسعية أو العادية هى الصدوع النمطية في مراكز انتشار قيعان البحار، وفى مناطق القارات حيث تتباعد الألواح.

فإذا كانت القوة السائدة لإحداث حركة الصدع تضاغطية فإن طبقات الصخر تتضاغط أو تتكرر عند النظر إليها فى القطاع المقطعى (الشكل ٣-١٠). وبالقوة التضاغطية يتحرك الجدار العلوى إلى أعلى بالنسبة للجدار السفلى؛ ويسمى هذا النموذج من الصدوع صدعًا معكوسًا. وتوجد عادة الحركات التضاغطية فى الصدوع المعكوسة فى مناطق تقارب الألواح حيث يحدث الانضواء أو التصادم المستمر.

ويمكن أن تكون لأصول الحركات التباعدية مقابل الحركات التضاغطية دلالات اقتصادية هائلة. راجع ثانية الشكلين (٣-٩ و٣-١٠) وتخيل طبقات الصخور المميزة فى كل شكل على أنها خزانات للزيت. وتصور نفسك مالكا لأى من المنطقة المتباعدة أو المنطقة المتداخلة (المتضاغطة). ففى إحدى الحالات تعنى الفقر، بينما فى الحالة الأخرى تعنى الثراء العظيم.

صدوع المضرب المنزلقة

عندما تكون معظم الحركة على طول الصدع أفقية، يُسمى الصدع صدع مضرب منزلق. وترى هذه التفريعات من الصدوع على الخريطة كما لو كنا ننظر إلى سطح الأرض من على بالون أو طائرة. وتصنف صدوع المضرب المنزلقة كذلك على أساس اتجاهات الحركة بالنسبة لكتل الصدع (الشكل ٣-١١). فإذا امتطيت صدعا وتحركت الكتلة التى على يمينك نسبيا، سمى الصدع صدعا يمينيا جانبيا. لاحظ أن هذا المبدأ الجارى لتسمية الصدع يسرى بغض النظر عن الطريقة التى تمتطى بها الصدع، وعليك أن تجربها من كلا الاتجاهين كما هو واضح فى الشكل (٣-١١). وبالمثل إذا تحركت الهيئات الواقعة على الجانب الأيسر للصدع فى اتجاهك سمى الصدع صدعا يساريا جانبيا.

رأينا صدع مضرب منزلق كبير فى نيوزيلاند هو صدع آلباين، ولكن أشهر صدع فى العالم هو صدع سان آندرياس فى كاليفورنيا. وهذا الصدع اليمينى الجانبى يزيد طوله عن ١٣٠٠ كم (٨٠٠ ميل). وفى يوم ١٨ أبريل ١٩٠٦ تمزق جزء من صدع سان آندرياس بطول ٤٣٠ كم (٢٦٥ ميلا) وتحرك أفقيا لمسافة ٦,٥ أمتار (٢٠ قدما) فى ٦٠ ثانية. وكان الانطلاق الكبير للطاقة المتولدة عن حركة الصدع فى الواقع انطلاقا للطاقة المرنة التى تجمعت واختزنت فى الصخور منذ عدة عقود.

وليست الصدوع سطوحا بسيطة مستوية تنزلق بسهولة عندما تقع تحت الإجهاد. ولكنها بدلا من ذلك مناطق معقدة من الكسور تواجه الصخور الخشنة المتداخلة بعضها ببعض بسطح غير منتظم يمتد عدة كيلومترات تحت سطح الأرض. ويتجمع الإجهاد على مدى عدة سنوات قبل أن تختزن الطاقة الكافية لإحداث شق فى الصدع. ويحدث الكسر فى نقطة ضعيفة فى الصدع ثم ينتشر بسرعة على طول سطح الصدع. ويتصرف كثير من الطاقة المختزنة فى الصخور على شكل موجات زلزالية منبعثة يسميها الناس زلازل. والنقطة التى يحدث فيها أول تمزق تدعى *البؤرة*. والنقطة من سطح الأرض التى تقع مباشرة فوق البؤرة تدعى نقطة فوق السطح (المركز السطحى) (الشكل ٣-١٢).

وشـق الصـــدع ليس حـركة بسيطة أحــاديــة الوقت تُحدث الزلزال. والحقيقة أننا لم نشعر بزلزال واحد. فالإجهادات التي تتجمع في الصخور في إحدى المناطق تنطلق في سلسلة من الحركات على طول الصدع أو الصدوع المتعددة وتستمر لبضعة أسابيع أو شـهور أو سنين. وتولد كل حـركة صدعيـة زلزالا؛ يسمى أكبرها بالزلزال، وتعرف الزلازل الصـغرى السـابقـة له بالصـدمـات الإنذارية بينمـا تعرف الصـدمـات الأصـغر التالية لها بالصدمات التابعة. والواقع أنه لا فرق بين هذه الزلازل سوى في الحجم؛ فكلها جزء من نفس السلسلة من الإجهادات التي تتصرف في الصدع. وعندما يحدث زلزال كبير ربما يعلن عن احتمال حدوث زلزال أكبر في الأيام الثلاثة التالية بنسبة ٦٪. وهذه الحقيقة الإحصائية مقدرة على أساس غير معروف عن كيفية تمييز الصـدمة الإنذارية عن الزلزال الرئيسي. وعلينا أن ننتظر حتى تنتـهي سلسلة الزلازل وتسمى جميع الهزات السابقة على الهزة الكبرى بالصدمات الإنذارية وكل ما أعقبها بالصدمات التابعة.

الدرجات في صدوع المضرب المنزلقة

لا تشق صدوع المضرب المنزلقة سطح الأرض ببساطة على طول خط مستقيم تماما. فيمزق كسر الصدع الصـخور على طول مساره في عدة كسور شبه متوازية تتوقف وتستمر وتنحني يسارا ثم تنحني يمينا. وللتشبيه تصوَّر كعكة مستطيلة. ضع يدك اليمنى على أعلى الركن الأعلى الأيمـن، ويدك اليسرى على أسفل الركن الأيسر. ثم اجذب إليك يدك اليمنى وادفع بعيدا عنك يدك اليسرى. فهل ترى الكَعكة تشق على امتداد خط مستقيم؟ أم على امتداد عدة كسور تقف وتستمر وتنحني يسارا ثم تنحني يمينا؟ وهكذا الحال في الأرض عندما تنشق في حركة صدع نتج عنها زلزال.

فـالثنيـات على طول الصدع ذات دلالات عـمـيـقـة بالنسـبـة لتشكيل تضـاريس طبوغرافية وبـدء وتوقـف أحـداث شـق الصدع. وفي الشكل (٣-١٣أ) مخطط لصدع يميني جانبي بثنية (درجة) فيه تدرج أو انثناء لليسار. قف على أي جانب من الصدع وانظـر إلى منطقـة الانثنــاء. لاحـظ أن قسم الصدع في يسار الانثناء أقرب إليك؛

ولهذا فهو تدرج يسارى لصدع يمينى جانبى. لاحظ ماذا يحدث للانحناء فى الصدع عندما ينزلق الجانبان عبر بعضهما البعض - تضاغط وتدافع وتصادم وكبح. وتوضح الصورة فى الشكل (٣-١٣ب) تدرجًا يساريًّا فى صدع سوبر ستيشان هيلز اليمينى الجانبى غربى براولى كاليفورنيا الذى حدث فى يوم ١٦ نوفمبر ١٩٨٧. لاحظ كيف نتج عن التضاغط فى المنحنى تل صغير. فما هو حجم هذا التل إذا استمرت هذه الحركة عند الدرجة اليسرى لعدة ملايين من السنين؟ وسنذكر أمثلة لهذا فى الفصل الرابع.

وبالمثل، يوضح الشكل (٣-١٤أ) تدرجا يمينيا على طول صدع يمينى جانبى. تخيل ماذا يحدث عند المنحنى فى الصدع. ففى هذه الحالة ينفرج كلا الجانبين عن بعضهما البعض، ويمتدان وينفرجان وينفكان. والصورة فى الشكل (٣-١٤ب) لنفس الزلزال على طول مختلف لنفس الصدع كما فى الشكل (٣-١٣ب). وعند هذه الدرجة اليمنى ينفرج الجانبان ويسفران عن شرخ واسع وحوض صغير ومنطقة هبوط.

صدوع تحويلية

والصدوع التحويلية نموذج خاص من الصدوع الأفقية الحركة أول من عرَّفها العالم الجيولوجى الكندى جى توزو ويلسون فى عام ١٩٦٥. والشكل (٣-١٥) يوضح المكونات الرئيسية للألواح التكتونية. وتتشكل القشرة المحيطية فى قاع البحر عند سلسلة الأعراف البركانية فى المحيط وتتباعد عن بعضها بقوة الجاذبية. وعندما تتصادم الألواح ينضوى اللوح الأعلى كثافة. ولكن ماذا يحدث على طول جوانب الألواح؟ ينزلق كل منها قبالة الآخر فى صدوع تحويلية. تصور هذه العملية بأبعادها الثلاثة. فالألواح المنتشرة ألواح صلدة من صخور المحيط، سمكها عشرات الكيلومترات تغلف الأرض شبه الكروية. فكيف يتحرك لوح صلد حول سطح مقوس؟ لابد أن تتكسر الألواح وهذه الكسور هى الصدوع التحويلية. والواقع أن الصدوع التحويلية لابد أن تربط مراكز الانتشار بمناطق الانضواء.

وفى الشكل (٣-١٥) لاحظ أن الحركة النسبية للوحين فى المنطقة الواقعة بين مركزى انتشار تكون فى اتجاهين متعاكسين فى شكل نموذجى لصدع مضرب منزلق. وعلى أية حال، فبالمرور فى كلا الاتجاهين إلى اليمين وإلى اليسار من مراكز الانتشار نلاحظ أن اللوحين يتحركان فى نفس الاتجاه؛ ولهذا تسمى هذه المنطقة بمنطقة التشقق. فالصدوع التحويلية فريدة فى نوعها لأنها توجد فقط بمراكز الانتشار. فهل يمكن تصنيف نفس الصدع على أنه صدع مضرب منزلق وصدع تحويلى؟ نعم.

تطور علم الزلازل

تعرف دراسة الزلازل بأنها علم دراسة الهزات الأرضية(*). وأول وسيلة تكشف عن الزلازل قديما اخترعها تشانج هينج فى الصين فى عام ١٣٢ ميلادية. وبدأ العصر الحديث فى إبداع آلات تكشف عن الزلازل فى حوالى عام ١٨٨٠. واستمر التطور فى الآلات بمختلف الأساليب، ولكن الحاجة الملحة كانت لتسجيل الموجات الزلزالية بأبعادها الثلاثة. وتحقق ذلك بأجهزة اكتشاف الحركات الأرضية (مقياس الزلزلة - السيزمومتر)(**) وتسجيلها بمسجل الزلازل (السيزموجراف)(***) على شكل حركات أفقية شمالية - جنوبية وأفقية شرقية - غربية وحركات عمودية. ولتسجيل مرور الموجات الزلزالية بدقة يحتاج مقياس الزلزلة إلى بقاء جزء ثابت بقدر الإمكان بينما الأرض بأكملها تهتز تحته. ولتحقيق ذلك يلزم بناء إطار تعلق فيه كتلة ثقيلة (الشكل ٣-١٦). ويستقر الإطار ذو الدعامة على الأرض ويتحرك عندما تتحرك الأرض، ولكن الكتلة المعلقة فى حبل تتغلب على قصورها الذاتى قبل أن تتحرك. والفرق فى حركات الإطار

(*) سيزمولوجيا- علم الزلازل seismology- العلم الذى يختص بدراسة الزلازل وكل ما يتعلق بها مثل قوتها ومداها وخطوط اتجاهاتها وتوقيتها وغير ذلك من الخصائص. (**معجم الجيولوجيا**- المترجم)

(**) سيزمومتر- مقياس الزلزلة seismometer - جهاز كاشف يستقبل ويسجل قوة النبضات الزلزالية، ويستخدم فى العادة للكشف عن الزلزال الطبيعى. (**معجم الجيولوجيا**- المترجم)

(***) سيزموجراف (مسجل الزلازل)- جهاز يسجل الموجات الزلزالية. (**معجم الجيولوجيا**- المترجم)

والكتلة المعلقة يسجل على الورق بالقلم والحبر أو على شكل بيانات رقمية. تصوَّر العملية تحدث كالآتي: أمسك بقلم حبر معتدل فى يدك ثم هز الأرض بأكملها تحت القلم لتصنع خطا بالحبر.

ومن المعلومات المهمة الأخرى أن يشمل التسجيل وقت وصول الموجات الزلزالية المختلفة وزمن استمرارها. ويتحقق هذا بجعل الوقت كامنا فى السجل الزلزالى؛ إما على شكل علامات مشرطة على الرسم البيانى أو فى البيانات الرقمية. ويوجد القياس الزمنى فى الولايات المتحدة بالساعة الوطنية فى بولدر بولاية كولورادو.

وهيأ التحليل الأولى للسجلات الزلزالية لعلماء الجيولوجيا أن يحددوا أنواعا مختلفة من الموجات الزلزالية المتولدة عن حركة الصدوع، وأن يقدروا قوة الطاقة المنصرفة، وأن يحددوا المركز السطحى والبؤرة (نقطة تلامس الصخرة للماء على سبيل المجاز).

الموجات الزلزالية : الموجات الداخلية

عندما تهتز الأرض تتصرف الطاقة فى الموجات الزلزالية التى تمر خلال باطن الأرض (موجات داخلية/ باطنية) وفى الموجات الأخرى التى تتحرك بالقرب من السطح فقط (موجات سطحية). والموجات الداخلية هى الأسرع وتسمى إما موجات أولية أو موجات ثانوية.

الموجات الأولية

الموجات الأولية (الابتدائية) هى الأسرع؛ ولهذا فهى أول ما يصل إلى محطة الرصد. وتتحرك بطريقة تضاغطية لنبضات متعاقبة من التضاغط (الدفع) والتمدد (السحب)؛ وهذه الحركة هى ما يمكن تصورها باستخدام لعبة اليويو (الشكل ٣-١٧أ). وتنطلق الموجات الأولية من مصدرها إلى الخارج على شكل كروى دائم التكبير

مثل البالون السريع التضخم. وهى تمر عبر جميع المواد الصلبة والسائلة والغازية. وتعتمد سرعتها على كثافة المواد التى تمر خلالها وقابليتها للانضغاط. فكلما زادت الكثافة والقدرة على مقاومة الضغط، زادت سرعة مرور الموجات خلال الشبكات الذرية المعبأة. والسرعات المثالية للموجات الأولية فى الصخور الكثيفة (مثل الجرانيت) تبلغ حوالى ٥,٥ كم/ثانية (حوالى ١٢٣٠٠ ميل/ ساعة). وتتباطأ سرعة الموجات الأولية فى الماء إلى ١,٥ كم/ ثانية (حوالى ٣٣٥٠ ميل/ ساعة). ونظرا لتشابه الموجات الأولية والموجات الصوتية، فيمكنها المرور فى الهواء. ويمكن أن تخرج من الأرض؛ وإذا كنت قريبا من المركز السطحى أمكنك أن تسمع هذه الموجات الأولية تطن بحوالى ١٥ دورة فى الثانية كأنها ضوضاء رعدية منخفضة. ويشبه وصول الموجات الأولية إلى منزلك أو مكتبك طنينا صوتيا مصحوبا بقعقعة النوافذ.

الموجات الثانوية

والموجة الثانوية ثانية الموجات التى تصل إلى محطة الرصد. والموجات الثانوية موجات مستعرضة تنتشر بالقص أو بالجزيئات المهتزة فى مسارها فى زوايا قائمة على اتجاه التقدم. وهذه الحركة ربما كانت أقرب إلى الفهم عند تصور كيفية حركة حبل القفز عندما تهز أحد طرفيه إلى أعلى وإلى أسفل (الشكل ٣-١٧ب). وتمر الموجات الثانوية فى الأجسام الصلبة فقط. فإذا وصلت إلى جسم سائل أو غازى ارتدت طاقتها منعكسة إلى الصخر أو تحولت إلى شكل آخر. وسرعة الموجة الثانوية تعتمد على كثافة المواد ومقاومتها للقص. فالسوائل والغازات ليست لها قوة قص ولهذا فلا تستطيع نقل الموجات الأولية. والسرعات المثالية للموجات الثانوية فى الصخور الكثيفة (مثل الجرانيت) تبلغ حوالى ٤-٤,٥ كم/ثانية (حوالى ٦٧٠٠ ميل/ ساعة). فإذا مرت فى السائل (مثل الماء) توقفت موجات القص. وتهز الموجات الأولية سطح الأرض بحركاتها لأعلى ولأسفل ومن جانب إلى آخر؛ ويمكن أن تحدث خسائر جسيمة فى المبانى.

الموجات الزلزالية وباطن الأرض

تولِّد الزلازل الكبرى موجات داخلية تبلغ من الفاعلية ما يجعل مسجلات الزلازل فى جميع أنحاء العالم تسجلها. وهذه الموجات الأولية والموجات الثانوية لا تتبع ممرات بسيطة عند مرورها فى باطن الأرض؛ فهى تتسارع وتتباطأ وتغير اتجاهاتها حتى تختفى الموجات الثانوية. وبتحليل مسارات مرور الموجات الزلزالية يمكننا الحصول على نماذج لباطن الأرض (الشكل ٣-١٨). فالأرض ليست متجانسة. وباتباع مسارات الموجات الأولية والموجات الثانوية من سطح الأرض إلى باطنها نلاحظ زيادة مبدئية فى السرعة ثم نلاحظ تباطؤا بين حوالى ١٠٠-٣٥٠ كم من الأعماق؛ وهذا هو الذى يحدد نطاق (غلاف) الانسياب(*). وباستمرار المرور إلى أسفل خلال الوشاح تختلف السرعات ولكنها تزيد بصفة عامة حتى عمق حوالى ٢٩٠٠ كم؛ وهنا تتباطأ الموجات الأولية بشكل ملحوظ بينما تختفى الموجات الثانوية. فتلك هى منطقة حدود لب الوشاح. ويشير توقف الموجات الثانوية إلى أن اللب الخارجى سائل فى معظمه. وبتحرك الموجات الأولية إلى اللب تزداد سرعتها تدريجيا حتى تحدث قفزة عند عمق حوالى ٥,١٥٠ كم بما يوحى بأن اللب الداخلى صلب.

الموجات الزلزالية: الموجات السطحية

هناك نموذجان رئيسيان للموجات الزلزالية التى تمر بالقرب من سطح الأرض هما - موجات لاف وموجات رايلى.

(*) نطاق الانسياب asthenospher أو الاستينوسفير: وهو النطاق العلوى فى الوشاح الأرضى حيث تسمح الحركات التشكيلية بالانضباط الأيزوستاتيكى. (**ما هى الجيولوجيا؟** - المترجم)

(*) غلاف الانسياب : الجزء الذى يلى القشرة الأرضية (وقد يعتبر جزءا من المحيط اليابس) وهو النطاق العميق من القشرة الأرضية وتوجد فيه الصخور فى حالة تسمح بالتأثر السريع بحركات الطى والتشوه. (**معجم الجيولوجيا**- المترجم)

وتتولد الموجات السطحية عن الموجات الداخلية التى يضطرب بها السطح. ويمكنك ملاحظة هذين النموذجين بالمقابل. فإذا قذفت حجرا فى الماء لاحظت حلقات من الأمواج الدائرية تتدفق إلى الخارج منطلقة من نقطة ارتطام الحجر بالماء (المركز السطحى). ويرمز إلى كلا النموذجين من الأمواج لاف ورايلى بحرف L أى بأنها موجات طولية، لأنها تستغرق وقتا طويلا فى استكمال دورة واحدة من الحركة وأنها الأبطأ فى الحركة.

موجات لاف

يمكن تمييز موجات لاف على أجهزة تسجيل الزلازل، وأول من شرحها هو العالم الرياضى البريطانى آ إى إتش لاف. فحركتها تشبه حركة الموجات الثانوية فيما عدا أنها تصدر من جانب إلى آخر فى مستوى أفقى مواز تقريبا لسطح الأرض. أما الموجات الثانوية فإن حركة القص بها تأتى فى زوايا قائمة فى اتجاه التقدم؛ أى أنها تبدو كحبل القفز فى الشكل (٣-١٧ب) مفرودا على الأرض. وتمر موجات لاف عادة أسرع من موجات رايلى. وهى مثل الموجات الثانوية لا تمر خلال الماء أو الهواء.

موجات رايلى

أول من تنبأ بموجات رايلى هو اللورد رايلى قبل ظهورها بالفعل على أجهزة تسجيل الزلازل بعشرين سنة. وهى تقترب فى دورانات للخلف بحركة إهليجية (بيضوية) (الشكل ٣-١٧جـ)، تشبه المسارات المدارية لجزيئات الماء فى موجات الماء التى تدفعها الرياح، فيما عدا أن الموجات فى الماء ذات دوران أمامى (الشكل ٣-١٧د). ويؤدى الاهتزاز الذى تحدثه موجات رايلى إلى حركات رأسية وأفقية. وكلما كانت البؤرة ضحلة زادت طاقة الأمواج الأولية والثانوية التى تضرب السطح مولِّدة طاقة أكثر فى موجات رايلى. وتمر الموجات المتسللة خلال كل من اليابسة والماء. والتقرير الشائع عن أن الزلزال يشعر به المرء وكأنه يتأرجح فى زورق على سطح البحر

يصف وصفا دقيقا مرور موجات رايلى. وهذه الموجات ذات مدى طويل؛ فإذا بدأت سارت لمسافات بعيدة.

الموجات السنامية (التسونامى)

وأضخم الموجات وأعتاها هى التى تمر عبر البحر دون أن يشعر بها أحد فى معظم الأوقات ثم ترتفع عالية وتضرب الشاطئ بضربات مدمرة. واليابان هى الدولة ذات التاريخ الحافل بأكثر الأضرار من هذه الأمواج الفتاكة، ويعرفها اليابانيون بكلمة التسونامى **tsunami** (وتعنى **tsu** الميناء و**nami** الموجة). وبما أنها كلمة يابانية الأصل فليس لها مفرد أو جمع. والإشارة إلى موجات الميناء تؤكد شدة الارتفاع الذى تصل إليه الأمواج فى الخلجان ومداخل الموانئ بسبب تركيز قوة الأمواج على المساحة الضيقة للخليج أو الميناء. فمثلا ربما تندفع الموجة المارة فى عرض البحر بارتفاع ٨ أمتار (أكثر من ٢٥ قدما) حتى يبلغ ارتفاعها ٣٠ مترا (١٠٠ قدم) عندما تحتشد فى ميناء ضيق.

ومن الأمثلة الفتاكة منها ما ضرب اليابان فى يوم ١٥ يونية ١٨٩٦ ذات يوم من أيام الصيف حين خرج الصيادون إلى عرض البحر وازدحمت الشواطئ بالمصطافين وضرب أحد الزلازل قاع البحر قبالة الشاطئ، وبعد ٢٠ دقيقة انسحب ماء البحر ليعود بعد ٤٥ دقيقة مصحوبا بصوت يشبه صوت العاصفة الرعدية المطرة. وضربت الموجات السنامية الشواطئ بعنف وبلغ أقصى ارتفاع لها ٢٩ مترا (٩٥ قدما) حيث احتشدت فى الخلجان والممرات الضيقة. فدمرت أكثر من ١٠٠٠٠ منزل وقتلت ما يزيد عن ٢٧٠٠٠ نسمة. ولم يشعر الصيادون فى عرض البحر لا بالزلزال ولا بالموجة السنامية؛ ولكنهم علموا بها عندما عادوا إلى الخليج فشاهدوا حطام منازلهم متناثرا فوق الماء وجثث عائلاتهم طافية.

وفى الولايات المتحدة تسمى الموجات السنامية عادة «الموجات المدية» وهى تسمية لا تطابق الواقع حيث لا تعنى الموجة السنامية شيئا بالنسبة لحركة المد.

ولا تعنى الموجة السنامية شيئا لذلك بالنسبة للرياح ولا للعواصف؛ لأنها تتولد من رشات صنعتها حركات الصدوع فى أعماق المحيطات، أو ثورات بركانية أو انهيار الكالديرات أو الانزلاقات الأرضية أو ارتطام النيازك وما شابه ذلك. ويمكنك تقريب فكرة التسونامى بإلقاء حجر فى بركة ماء راكد، حيث تنبعث سلسلة من الأمواج المركزة من نقطة الارتطام إلى الخارج. تخيل حجم الأمواج المنبعثة عندما يسقط فى الماء صخر ضخم - مثلما حدث فى انهيار الكالديرا فى براكين كراكاتاو فى عام ١٨٨٣ أو سانتورينى فى حوالى ١٦٢٠ ق.م. (انظر الفصل السابع).

وكثيرا ما تحدث الموجات السنامية أثناء الزلازل، وخاصة فى حركات الصدوع فى قاع البحر ذات التشعبات التى تعترض كتلة مياه المحيطات العميقة. وهى الحركات الصدعية الرأسية فى مناطق الانضواء التى تشيع فيها الموجات السنامية وخاصة فى المحيط الهادى (الجدول ٣-١).

وحدثت أعتى موجة عرفت فى التاريخ فى يوم ٩ يوليو ١٩٥٨ حينما سقطت كتلة صخرية ضخمة فى خليج ليتويا فى آلاسكا. ومن الأنسب تسمية هذه الموجة سايش(*) حيث دفعت بحائط من الماء إلى الجانب المقابل للخليج، فجردت المنحدرات على الشاطئ المقابل من غاباته الواقعة على ارتفاع ٥٢٠ مترا (١٧٠٠ قدم) فوق مستوى سطح البحر. وربما كانت أقوى موجات حدثت على الإطلاق عندما سقط كويكب يبلغ قطره بضع كيلومترات فى المحيط العميق.

الموجات السنامية مقابل الموجات التى تسببها الرياح

تتنوع موجات المحيط النمطية التى تسببها الرياح على مدار السنة. ورغم أن الفترات الزمنية للأمواج التى تسببها الرياح وأطوالها تختلف باختلاف العواصف والفصول، فإنها تختلف اختلافا بينا عن الموجات السنامية (الجدول ٣-٢).

(*) سايش seiche تأرجح من جانب إلى جانب فى سطح إحدى البحيرات على فترات. (تشيمبرز - المترجم)

والفرق فى سرعات الأمواج التى تسببها الرياح عن الأمواج السنامية كبير أيضا. ففى الماء العميق تبلغ سرعة الموجات التى تسببها الرياح فى الجدول (٣-٢) حوالى ١٧ ميلا/ ساعة بالنسبة لموجة مدتها ٥ ثوان، وحوالى ٧٠ ميلا/ساعة بالنسبة لموجة مدتها ٢٠ثانية. أما حساب سرعة الموجة السنامية فيتم كالأتى:

س = الجذر التربيعى ج ×ع

حيث س هى سرعة الموجة و ج هى التسارع بفعل الجاذبية (٩,٨ متر/ث^{٢} أو ٣٢ قدم/ث^{٢}) وع هى عمق ماء المحيط. ومتوسط عمق المحيط الهادى ٥٥٠٠ متر (١٨٠٤٠ قدم). وبحساب الجذر التربيعى للجاذبية وضربه فى ع نحصل على سرعة الموجة السنامية وهى ٢٣٢ مترا/ث (٥١٨ ميلا/ساعة).

وتبلغ أطول الموجات السنامية حدا يجعلها دائما تجرى عبر قاع المحيط بغض النظر عن مدى عمق الماء. ولحوض المحيط تضاريس طبوغرافية على القاع تحد من سرعة معظم الموجات السنامية إلى ٤٢٠-٤٨٠ ميلا/ساعة. وعندما تصل إلى الشاطئ يعمل الاحتكاك المتزايد بالقاع والاضطراب الداخلى للماء على تباطؤ اندفاع الموجة السنامية ولكنها ربما لا تزال تتحرك بسرعات الطريق المفتوح.

وتصل الموجة السنامية على شكل سلسلة من عدة موجات تفصلها فواصل نمطية فى حدود ١٠-٦٠ دقيقة. ولا يمكن التكهن بأكبر الموجات فى السلسلة؛ وفى الحالات التاريخية الثلاث التالية كانت أكبرها الأولى والثالثة والخامسة على التوالى. وعادة ما تكون الموجات السنامية أشد خطورة على الشواطئ المنبسطة أكثر من الشواطئ المنحدرة. ويبلغ ارتفاع الموجة فى أعالى المحيطات نمطيا مترا أو نحو ذلك بينما يزيد ارتفاعها إلى ٦-١٥ متراً (٢٠-٥٠ قدما) عندما تصل إلى المياه الضحلة، فيما عدا التضاريس الطبوغرافية الضيقة مثل الخلجان والموانئ حيث تتركز الطاقة لجعل الأمواج أكثر ارتفاعا. وهناك ميل إلى النظر إلى القوة التدميرية للموجة السنامية تبعا للارتفاع الهائل للموجات، ولكن ارتفاع الموجة السنامية لا يماثل فى أهميته القوة الدافعة لكتلتها الهائلة التى تفصلها الأمواج الفائقة الطول. ولا تتماثل الموجات السنامية التى تصل إلى الشاطئ مع الموجات العملاقة التى تتكسر ونشاهدها كل يوم.

فالموجة السنامية النمطية تضرب الشاطئ مثل مد يرتفع سريعا جدا أو موجة الماء الأبيض، ولكنها لا تقف عند الشاطئ بل تستمر فى الجريان على اليابسة.

دروس من الموجات السنامية

ربما تعلّمنا الأمثلة بعضا من الدروس المستفادة المهمة عن الموجات السنامية.

ألاسكا فى ١٧ مارس ١٩٤٦

مع بداية شهر أبريل عام ١٩٤٦ فى جزر آليوشيان حدثت حركتان انضوائيتان كبيرتان هزتا المنطقة بعنف. وتعجل عمال فنار الثغر الإسكتلندى الخمسة الذين ظلوا ساهرين طويلا لما يمكن أن يخفيه لهم ظلام الليل الدامس. وكانت الفنارة مبنية بالخرسانة المسلحة المقوّاة بالصلب وتقع قاعدتها على ارتفاع ١٤ مترا (٤٦ قدما) فوق متوسط المستوى الأدنى لسطح الماء (الشكل ٣-١٩ أ). وبعد حوالى ٢٠ دقيقة من الزلزال الثانى، اكتسحت موجة سنامية يبلغ ارتفاعها ٣٠ مترا (١٠٠ قدم) الفنار (الشكل ٣-١٩ب). وفى هذا الوقت كانت الموجة الأولى هى الأقوى.

وليست الموجات السنامية مجرد حوادث محلية. فالموجات تتسابق عبر المحيط الهادى بأكمله وبسرعات تقترب من سرعات طائرات الخطوط الجوية النفاثة. فإذا دخلت الموجة السنامية أرضا ضحلة عمل الاحتكاك بالقاع على إبطائها بشكل ملحوظ. فذات يوم من أيام شهر أبريل جرت الموجة السنامية بسرعة ٤٨٥ ميلا فى الساعة فى أعماق المحيط وتباطأت إلى نحو ٣٥ ميلا فى الساعة عندما اقتربت من شاطئ هيلو فى هاواى. ولا يتحمل البشر كتلة هذه الأمواج العاتية (الشكل ٣-٢٠)؛ فأسرع العدائين الأحياء تقل سرعته عن ٢٥ ميلا فى الساعة. والأمواج ذات الأطوال الممتدة كذلك تسمح لقمّتها بالاندفاع على اليابسة لمسافات بعيدة؛ وليس هناك حوض خلفها مباشرة يستوعب الماء ويستعيد رجوعه إلى المحيط ثانية (الشكل ٣-٢١ أ و ب). والموجة السنامية

التالية ربما أتت بعد ساعة. فالموجات السنامية قتلت فى عام ١٩٤٦ فقط ١٥٩ نسمة فى هيلو فى هاواى.

وبوقوع هاواى فى منتصف حوض المحيط الهادى المعرض للزلازل تلقت موجات سنامية متعددة. ويختلف ارتفاع الموجة السنامية عند الشاطئ باختلاف التضاريس الطبوغرافية المحلية. وقد أعدت خريطة للمخاطر السنامية التى تتعرض لها هاواى (الشكل ٣-٢٢).

شيلى فى ٢٢ مايو ١٩٦٠

وقع أقوى زلزال على الإطلاق تم قياسه فى يوم ٢٢ مايو ١٩٦٠ (انظر الفصل الثانى). فالموجة السنامية المتولدة عن هذا الزلزال الناتج عن حركة الانضواء بقوة ٩,٥ بمقياس ريختر قتلت أناسا فى المحيط الهادى. ففى شيلى انطلقت الموجة الزلزالية الأساسية فى الساعة ٣,١١ مساء يوم الأحد. وقد ألف الناس فى شيلى الزلازل، بحيث يتوجه كثير من الناس إلى الأراضى المرتفعة تحسبا للموجات السنامية. وبعد ١٥ دقيقة من الزلزال ارتفع البحر وكأنه مد يرتفع سريعا حتى يصل إلى ٤,٥ مترا (١٥ قدما) فوق سطح البحر. ثم تراجع البحر سريعا وسمعت أصوات هسهسة وقرقرة ضوضائية وقد سحب معه المنازل المدمرة والزوارق إلى المحيط. ولجأ بعض الناس إلى اعتبار الموجة الهادئة علامة على أن هذه الأمواج السنامية يمكن ركوبها بزوارقهم فى عرض البحر. وفى حوالى الساعة ٤,٢٠ مساء، وصلت الموجة السنامية الثانية بارتفاع ٨ أمتار (٢٦ قدما) وبسرعة ١٢٥ ميلا فى الساعة. فاكتسحت الموجة الزوارق بركابها المذعورين، كما حطمت المبانى الساحلية. ولكن الموجة الثالثة كانت أعنفها؛ إذ ارتفعت ١١ مترا (٣٥ قدما) ولكن سرعتها بلغت نصف سرعة الموجة الثانية. ومات ١٠٠٠ نسمة من شيلى فى هذه الموجات السنامية.

ومنذ عام ١٩٦٠ وسكان هاواى يتلقون إنذارات قبل وصول الموجات السنامية. فمركز الإنذار السنامى فى المحيط الهادى يقدر الزلازل الكبيرة فى المحيط الهادى

ثم يستخدم خرائط مثل تلك الموضحة فى الشكل (٣-٢٣) ليزود الناس بإنذار مبكر قبل عدة ساعات مستخدما صفارات الإنذار. وتوقع الخبراء أن تصل الموجة السنامية التى حدثت فى شيلى إلى هاواى فى الساعة ٩,٥٧ صباحا؛ ولكنها وصلت فى الساعة ٩,٥٨ صباحا. وغرق ٦١ نسمة منهم المتفرجون الذين انتظروا على الشاطئ لمشاهدة الموجة السنامية القادمة. وامتدت الموجة السنامية إلى اليابان كذلك فقتلت ١٨٥ نسمة آخرين. وبلغت كمية الطاقة الكامنة فى هذه المجموعة من الموجات السنامية قدرا كبيرا بحيث سجلت فى مقاييس المد فى المحيط الهادى لمدة أسبوع، إذ كانت نبضات الطاقة تنبض فجأة للأمام وللخلف عبر حوض المحيط بأسره.

ألاسكا فى ٢٧ مارس ١٩٦٤

كان زلزال الجمعة الطيبة فى آلاسكا بقوة ٩,٢ بمقياس ريختر زلزالا وحشيا، إذ اجتاحت موجاته السنامية شاطئ آلاسكا النادر السكان فقتلت ١٢٢ شخصا. وارتفعت الكتل الأرضية الهائلة وانخفضت بسلسلة الزلازل الانضوائية (الشكل ٤-٣) فأرسلت موجات سنامية عارمة (الشكل ٣-٢٣). وأشار مقياس المد فى مدينة كريسانت فى كاليفورنيا إلى وصول أول موجتين سناميتين من قبل أن تفسحا الطريق للموجة الثالثة (الشكل ٣-٢٤). وبالإنذار المبكر تم إخلاء منطقة الساحل فى مدينة كريسانت وانتظر السكان فوق المنحدر عندما أقبلت الموجة السنامية وأحدثت خسائر فادحة. وبعد مشاهدة الموجات السنامية الأربع لم يتحمل كثير من السكان الصبر على الاطمئنان على ممتلكاتهم؛ فذهب البعض ليتفقدوها - فكان ذلك خطأ فاحشا - وفى هذه السلسلة من الموجات السنامية كانت الخامسة أشد وطأة؛ إذ كان ارتفاعها ٦,٣ أمتار (٢١ قدما)، فقتلت ١٢ شخصا من الفضوليين. وحدثت جميع حالات الوفيات فى مدينة كريسانت من جراء الموجة السنامية الخامسة.

نيكاراجوا فى ١ سبتمبر ١٩٩٢

فى الساعة ٦,١٦ من مساء يوم الثلاثاء حدث زلزال كبير غير عادى (قوته ٦ر٧) ولكن كاد الناس ألا يشعروا به. فبعد حوالى ٤٥ دقيقة اجتاحت موجة سنامية ارتفاعها ١٠ أمتار (٣٣ قدما) قطاعا طوله ٣٠٠ كم (١٨٥ ميلا) من ساحل نيكاراجوا. فماذا حدث؟ ولماذا اهتزت الأرض قليلا جدا بينما هاج ماء المحيط فى موجة سنامية هائلة؟ تحرك الصدع ببطء لدرجة أن الموجات الزلزالية العالية السرعة القصيرة المدة كانت ضعيفة نسبيا فلم تهز الأرض إلا قليلا، بمقدار ١/١٠٠ مما كان متوقعا. وعلى أية حال، أطلق الصدع البطىء الحركة قدرا كبيرا من الطاقة لمدة طويلة فى الماء فأحدث موجات سنامية قوية.

كان الزلزال حدثا انضوائيا حيث تحرك لوح المحيط فى قطاع طوله ١٠٠ كم (٦٢ ميلا) لمسافة متر واحد فى دقيقتين. وكانت حركة الصدع البطيئة كافية بصفة خاصة لضخ طاقة فى الماء. وامتص ماء البحر الطاقة فأرسل إلى الشاطئ أمواجا سنامية. وتورط سكان الشاطئ بدون إنذار فدمر ١٣٠٠٠ منزلاً وقتل ١٧٠ نسمة معظمهم من الأطفال الذين كانوا نائمين.

بابوا بغينيا الجديدة فى ١٧ يوليو ١٩٩٨

فى الساعة ٦,٤٩ مساء يوم الجمعة ضرب الساحلَ الشمالىَّ فى بابوا بغينيا الجديدة زلزال بقوة ٧,١ على بعد ٢٠ كم (أكثر من ١٢ ميلا) من الشاطئ. وعندما انتهت الهزة وصف شهود العيان منظر البحر وهو يرتفع فوق الأفق ويقذف رشاشا إلى ارتفاع ٣٠ مترا (١٠٠ قدم). وسمعوا أصواتا مثل أصوات الرعد البعيد ثم انحسر البحر ببطء. وبعد حوالى ٤ – ٥ دقائق سمعوا صوتا مدمدما وشاهدوا موجة سنامية ارتفاعها حوالى ٤ أمتار (١٣ قدما) تقترب. فإذا رأيت الموجة تقترب ضاعت فرصتك السانحة للهروب. فجرفت الموجة كل من كان على حافة الشاطئ وقذفتهم إلى بحيرة شاطئية ضحلة (الشكل ٣–٢٥).

وبعد بضع دقائق اقتربت موجة ثانية ولكن ارتفاعها كان ١١ مترا (٤٨ قدما). والموجة السنامية لا تتخذ شكل الموجة النمطية، بل تتخذ شكل فطيرة من الماء. وهذه الموجة كان متوسط ارتفاعها ١٠ أمتار (٣٣ قدما) وعرضها ٤-٥ كم (٢-٣ أميال). فتخيل هذه الفطيرة السميكة من الماء تنصب فوق شاطئ كثيف السكان بسرعة ١٥ ميلا فى الساعة ولمدة تزيد على دقيقة. وكان هذا الحدث السنامى مكونا من سلسلة من ثلاث موجات جرفت آلافا من الناس بمنازلهم إلى بحيرة شاطئية ضحلة. وتم اكتساح هذا الشاطئ الذى يأوى أربع قرى. وقدرت الوفيات بحوالى ٢٢٠٠ نسمة معظمهم من العاجزين عن السباحة وأغلبهم من الأطفال.

والظاهر أن الموجة السنامية فى بابوا بغينيا الجديدة لم تكن وليدة الزلزال مباشرة؛ بل كانت نتيجة انزلاق أرضى تحت سطح البحر حفزته الهزة. وأحدث هذا الحدث ثورة فى الفكر العالمى حول تهديدات الموجات السنامية. فالموجات السنامية العارمة لم يعد يعتبرها الخبراء حدثا تسببه الزلازل العملاقة فى أماكن بعيدة. فالموجة السنامية يمكن أن تتولد عن صدوع محلية صغيرة تتسبب فى انزلاق الكتل الصخرية والرملية غير المستقرة تحت الماء. وبهذا التقدير الهام لتهديد الموجات السنامية نتبين أن: (١) جنوبى كاليفورنيا غير آمن بسلسلة الجزر قبالة شاطئه لأن حركة أحد الصدوع القريبة من الشاطئ يمكن أن تحفز انزلاقا أرضيا تحت الماء، (٢) ساحل الولايات المتحدة المطل على المحيط الأطلنطى معرض للموجات السنامية الناجمة عن انهيار وانزلاق الحافة القارية الخارجية، (٣) بحيرة تاهو عاشرة البحيرات الكبرى فى العالم تمر بها صدوع يمكن أن تتحرك وتسبب موجات سنامية ارتفاعها ١٠ أمتار (٣٣ قدما).

تحديد مصدر الزلازل

يمكن تحديد بؤرة الزلزال ومركزه السطحى (نقطة فوق السطح) باستخدام طول الفترة الزمنية التى تستغرقها مختلف الموجات الزلزالية حتى تصل إلى جهاز تسجيل الزلزال. وتمر الموجات الأولية أسرع من الموجات الثانوية بمقدار ١,٧ ؛

ولهذا فكلما بعدت عن مصدر الزلزال زاد الفرق في زمن الوصول بين الموجات الأولية والموجات الثانوية (الشكل ٣-٢٦). وعندما يسجل شريط تسجيل الزلازل زلزالا، يتحدد الفارق في أزمنة الوصول بين الموجات الأولية أ والموجات الثانوية ث بمقدار (ث - أ). وبفحص الرسم الزلزالي في الشكل (٣-٢٧) يتضح أن الموجة الثانوية وصلت بعد الموجة الأولية بمقدار ٣ دقائق و٤٥ ثانية. ويوضح الشكل (٣-٢٦) الفارق الزمني ث - أ وهو ٣ دقائق و٤٥ ثانية الذي يختص بزلزال يبعد ٢٢٥٠ كم (١٤٠٠ ميل). ولكن في أي الاتجاهات؟

ويمكن تحديد المراكز السطحية باستخدام الرسم الزلزالي من ثلاث محطات رصد. فمثلا، يحدد الفارق الزمني لوصول الموجتين ث - أ المركز السطحي على مسافة ١٦٤ كم (١٠٢ ميلا) من جامعة ولاية ممفيس في تينيسي، و٢٣٦ كم (١٤٦ ميلا) من جامعة سان لويس في ميسوري، و٦٦٤ كم (٤١٢ ميلا) في جامعة ولاية أوهايو في كولومباس. فإذا رصدت المسافة من كل محطة على شكل نصف دائرة، فسوف تتقاطع الدوائر الثلاث في نقطة واحدة هي المركز السطحي في نيو مدريد في ميسوري (الشكل ٣-٢٨). وتستخدم الحواسب الإلكترونية عادة في حسابات تقدير مواقع المراكز السطحية؛ وعلى أية حال، يمكن طرح العملية في صورة ذهنية أفضل عن طريق الدوائر المرسومة يدويا.

والفارق في أزمنة الوصول بين الموجات الأولية أ والموجات الثانوية ث (ث - أ) يحدد في الواقع المسافة بين محطة الرصد وبؤرة الزلزال، أي موقع حركة الصدع المبدئية (الشكل ٣-١٢). فإذا كانت بؤرة الزلزال واقعة على سطح الأرض، فإن المركز السطحي ينطبق على البؤرة. وعلى أية حال، إذا وقعت البؤرة في العمق تحت السطح (س) فسوف تؤثر على زمن وصول الموجات السطحية، لأن الموجات السطحية س لا تبدأ حتى تضرب الموجات الأولية سطح الأرض. وتحدد البؤرة بوجود نظام متقارب من أجهزة رصد الزلازل، يسمح بالتحليل الدقيق لأزمنة وصول الموجات الأولية.

تقدير قوة الزلزال

تقيَّم قدرة الزلزال بالحجم النسبى للزلزال وتقاس عادة بآثار الموجة الزلزالية على الرسم الزلزالى. ويوضح الشكل (٣-٢٩) بعض الخواص القياسية للموجات الزلزالية. فالمدى هو الفترة الزمنية اللازمة لمرور دورة كاملة، والسعة هى ارتفاع آثار الموجة فوق نقطة البداية. وتقدر المدة بطريقة عكسية بتردد الموجات الزلزالية:

المدى = ١/ التردد (هيرتز)

وتحدث الموجات الزلزالية فى نظام واسع من الترددات. وعلى أية حال، فالموجات الداخلية (أ و ث) تحدث بغزارة فى الترددات العالية من ٠,٥ حتى ٢٠ هيرتز، أى من نصف دورة حتى ٢٠ دورة فى الثانية وتدعى بالموجات القصيرة المدى. والموجات العالية التردد تنشط كثيرا فى المسافات القصيرة القريبة من البؤرة/ المركز السطحى. والموجات السطحية تشيع عادة فى الترددات المنخفضة، أقل من دورة فى الثانية؛ وتوصف حركات هذه الأمواج الطويلة المدى نمطيا بالمدى الزمنى مقدما بالثانية. وتحمل الموجات ذات التردد المنخفض كميات كبيرة من الطاقة لمسافات بعيدة عن المركز السطحى.

مقياس ريختر

هناك عدة أنظمة لتقدير قوة الزلازل. وأشهر هذه الأنظمة مقياس ريختر. ففى عام ١٩٣٥ ابتكر العالم تشارلز ريختر من المعهد التقنى فى كاليفورنيا مخططا كمِّيا ليصف به قوة الزلازل فى كاليفورنيا؛ أى الزلازل ذات البؤر الضحلة المحددة مواقعها بالقرب من مراصد الزلازل (أقل من ٣٠٠ ميل). ويستند مقياس ريختر على فكرة أن الزلزال كلما كبر كبرت معه الهزة الأرضية، وعلى هذا تزداد السعة (الأرجحة) فى الخطوط التى يرسمها الرسم الزلزالى. ولمعايرة هذه العلاقة عرِّف قدرة الزلزال بأنها:

لوغاريتم الأساس ١٠ لأعلى سعة للموجة الزلزالية (مقدرة بواحد من ألف من الملليمتر) مسجلة على جهاز رسم الزلازل المعيارى على مسافة ١٠٠ كم من مركز الزلزال.

ونظرا إلى أن جميع أجهزة الرسم الزلزالى لن تكون على مسافة ١٠٠ كم من المركز السطحى؛ فقد أعيد النظر فى أمر المسافة. ووضع ريختر أرقاما بسيطة شاملة لتحديد المقادير؛ ففى كل عشرة أضعاف زيادة فى قوة الموجة الزلزالية المسجلة تزيد قوة ريختر رقما واحدا مثل ٤ تزيد إلى ٥. فالطاقة المنطلقة من الزلازل تزداد بأسرع من العشرة أضعاف الزيادة فى نطاق آثار الموجة الزلزالية. فمثلا، إذا زاد نطاق الموجات الزلزالية ١٠٠٠٠ مرة (١٠×١٠×١٠×١٠) تحركت قوة ريختر لتزيد من ٤ إلى ٨. وعلى أية حال، فإن الطاقة المنطلقة من ٤ إلى ٨ تزداد لتصبح ٢٨٠٠٠٠٠ مرة (الجدول ٣-٣).

فماذا تعنى هذه الزيادة فى المفهوم اليومى. إذا شعرت بزلزال قوته ٤ وأنت جالس إلى مائدة الغداء، ثم حدث زلزال قوته ٨ وأنت لا تزال جالسا إلى مائدة الغداء، فهل تهتز حقا ٢٨٠٠٠٠٠ هزة مماثلة فى القوة؟ لا. فالطاقة الأكبر للزلزال الذى بلغت قوته ٨ تنتشر على مساحة أوسع والزلزال الذى تبلغ قوته ٨ يشتت طاقته على فترة زمنية أطول بحوالى ٢٠ ضعفا (مثل ٦٠ ثانية فى مقابل ٣ ثوان). والهزة الفعلية فى الزلازل التى تزيد قوتها عن ٦ لا تزيد كثيرا جدا (ربما زادت ثلاثة أضعاف)؛ ومن المؤكد أنها لا تزيد بمثل القيمة الواردة فى الجدول (٣-٣). والواقع أن الزلزال الأكبر يعنى أن أناسا أكثر فى منطقة أوسع ولمدة أطول يتعرضون لهزات مكثفة.

وسرعان ما دخلت الحاسبات الإلكترونية فى تقدير قوة الزلزال بمقياس ريختر، وهذا ما جعل لها شعبية واسعة النطاق بين أجهزة الإعلام الإلكترونية والمطبوعة. فبمجرد العلم بوقوع زلزال عادة بالتبليغ الهاتفى من أجهزة التبليغ، يمكن بسرعة قياس: (١) مدى اتساع الموجات الزلزالية، (٢) الفارق بين زمن وصول الموجة الأولية والموجة الثانوية. والشكل (٣-٣٠) يبسط معادلة ريختر فى شكل مخطط بيانى يسمح بسهولة تحديد قوة الزلزال. ولا يستغرق الأمر أكثر من دقيقتين لتحديد قوة الزلازل الذى طبع رسمه الزلزالى فوق المخطط البيانى.

وفى كل عام تضرب الأرض ملايين الهزات التى تسجلها مراصد الزلازل. ومعظمها صغير لا يشعر بها الناس (الجدول ٣-٤). لاحظ التوزيع الهرمى المميز للزلازل بالحجم -فكلما صغرت قوة الزلزال زاد عددها. ولكن أقل من ٢٠ زلزالا كبيرا (بقوة ٧ فأعلى) هى المسئولة كل سنة عن أكثر من ٩٠٪ من الطاقة المتحررة من الزلازل. وهذه الحقيقة تؤكد الطبيعة اللوغاريتمية لمقياس ريختر؛ فكل درجة لأعلى المقياس ذات أهمية كبرى.

مقاييس أخرى لحجم الزلازل

الزلزال حدث مركب، ويحتاج الأمر إلى أكثر من رقم لتحديد قوته. ورغم أن مقياس ريختر مفيد فى قياس الزلازل المتوسطة الحجم التى تحدث فى مناطق قريبة، فإن الموجات ذات المدى من ٠,١ حتى ٢ ثانية التى يستخدمها لا تسفر عن نتائج طيبة فى المسافات البعيدة أو الزلازل الكبيرة حقا. فالموجات القصيرة المدى لا تشتد كثيرا كلما كبر الزلزال. فمثلا، قدر مقياس ريختر زلزال سان فرنسيسكو فى عام ١٩٠٦ وزلزال آلاسكا فى عام ١٩٦٤ على أنهما بقوة ٨,٣ . وباستخدام مقاييس أخرى رجحت أن يكون زلزال سان فرنسيسكو بقوة ٧,٨ بمقياس ريختر وزلزال آلاسكا بقوة ٩,٢ . وكان زلزال آلاسكا أكبر ١٠٠ مرة على الأقل.

ويقتصر الآن مقياس ريختر على قياس الزلازل المحلية فقط ذات القوة المتوسطة (يرمز لها بالرمز M_L(*)). ونظرا إلى أن الزلازل تولد كلا من الموجات الداخلية التى تمر خلال الأرض والموجات السطحية التى تتبع الطبقات العليا من الأرض، فإن مقياسين آخرين للقوة يستخدمان منذ زمن بعيد يرمز لهما بالرمزين m_b(**) و M_S(***). فمقياس الموجات الداخلية m_b يستخدم نطاقات من الموجات الأولية ذات المدى من ١ حتى

(*) moderate magnitude scale = M_L مقياس القوة المتوسطة للزلازل المحلية. (المترجم)

(**) body wave scale = m_b مقياس الموجات الداخلية. (المترجم)

(***) surface wave scale = M_S مقياس الموجات السطحية. (المترجم)

١٠ ثانية، بينما مقياس الموجات السطحية (M_S) يستخدم موجات رايلى ذات المدى من ١٨ حتى ٢٢ ثانية. وفى زمن مضى كانت جميع مقاييس القوة تعتبر متكافئة، ولكننا اليوم نعرف أن الزلازل تولِّد نسبا مختلفة من الطاقة فى فترات مختلفة. فمثلا الزلازل الكبرى الناجمة عن سطوح الصدع الكبيرة المتكسرة تبث طاقة أكبر فى موجات زلزالية طويلة المدى. ولهذا، فبالنسبة للزلازل الكبرى تقبل قوة الموجات الداخلية (m_b) كثيرا من قيمة الحجم الفعلى للزلزال. ولا يشترط أن تعطى شبكة مكونة من الطرق الثلاثة فى تقدير قوة الزلزال (M_L و m_b و M_S) تقديرا حقيقيا لحجم الزلزال.

مقياس عزم قوة الزلزال

انتقل علماء الزلازل إلى مقاييس أخرى لتقدير حجم الزلزال بطريقة أدق؛ إذ يعتمد عزم الزلزال (M_O)(*) على مقدار الحركة على طول الصدع الذى ولّد الزلزال؛ أى أن M_O تعادل قوة القص فى الصخر مضروبة فى منطقة التمزق فى الصدع مضروبة فى معدل الإزاحة (الانزلاق) على الصدع. فالعزم مقياس يُعْتَمَد عليه كثيرا فى تقدير حجم الزلزال؛ فهو يقيس مقدار طاقة الانفعال(**) التى أفرغتها الحركة على امتداد كسر الصدع بالكامل. والعزم الزلزالى الذى استخدمه العالم هيرو كاناموري فى مقياس جديد لقوة الزلزال، هو مقياس عزم قوة الزلزال (M_W)(***) حيث:

$$M_W = 2/3 \ \log_{10} (M_O) - 6$$

ويستخدم مقياس عزم قوة الزلزال فى الزلازل الكبيرة. فهو أكثر دقة لأنه مرتبط مباشرة بالخط البيانى للمعايرة الطبيعية مثل منطقة كسر الصدع وانزلاق الصدع

(*) seismic moment = M_O عزم الزلزال. (المترجم)

(**) انفعال strain تحرف فى طول الجسم أو فى حجمه أو فى شكله بتأثير إجهاد واقع عليه. ويقاس الانفعال الطولى بمقدار الاستطالة فى وحدة الأطوال لهذا الجسم. (**معجم الجيولوجيا**- المترجم)

(***) moment magnitude scale M_W مقياس عزم قوة الزلزال. (المترجم)

وتصريف الطاقة. وتستخدم مقاييس الزلازل الأخرى قياسات غير مباشرة مثل قياس عدد مرات تحرك إبرة جهاز الرسم الزلزالي.

وأكبر القياسات لعزم قوة الزلازل التي قيست حتى الآن هي زلزال آلاسكا في ١٩٦٤ (Ms of 8.3; Mw of 9.2) (الموجات السطحية لقوة ٨,٣؛ وعزم قوة الزلزال مقداره ٩,٢) وزلزال شيلي في ١٩٦٠ (Ms of 8.5; Mw of 9.5) (الموجات السطحية لقوة ٨,٥؛ وعزم قوة الزلزال مقداره ٩,٥). وفي الشكل (٣-٣١) تنويعات من أحداث فعالة موضوعة على مقياس للمقارنة.

تحرك التربة أثناء الزلازل

تنطلق الموجات الزلزالية للخارج من حركة الصدع. وتحرك التفاعلات بين مختلف الموجات الزلزالية الأرض رأسيا وأفقيا. وعادة ما تصمم المباني لتتحمل القوى الكبيرة الرأسية الناجمة عن أوزان المباني ومحتوياتها. وهي مصممة بمعاملات كبيرة للأمان بحيث لا تعتبر القوى الرأسية الإضافية التي تحدثها الزلازل مشكلة نمطية. وعادة ما يوجه الاهتمام الأكبر في تصميم المباني لتحمل الزلازل الكبرى إلى الضغط الجانبي الناتج عن العناصر المسببة للحركة الأفقية (الشكل ٣-٣٢).

العجلة (التسارع)

يجب أن يراعى في تصميم المباني في المناطق المعرضة للزلازل العجلة (التسارع). وبما أن الموجات الزلزالية تحرك الأرض والمباني إلى أعلى وإلى أسفل وإلى الأمام وإلى الخلف فإن معدل تغير الحركة يقاس بالتسارع. وبالمقابل، عندما تتحرك سيارتك بسرعة ٢٥ ميلا في الساعة على طريق ممهد ناعم فإنك لا تشعر بقوة تقع على بدنك. ولكنك إلا ضغطت بقوة على بدال التسارع ووصلت سريعا إلى سرعة ٥٥ ميلا في الساعة، فإنك تشعر بقوة تدفعك إلى الخلف عند المقعد. وبنفس الفكرة، إذا ضغطت

بقوة على بدال الفرامل وتباطأت السيارة سريعا، فإنك تشعر بقوة تدفعك إلى الأمام. وهذا النمط ذاته من قوة التسارع يحدث للمبانى عندما تتحرك الأرض من تحتها عند حدوث الزلزال.

وباستمرار المثال، إذا وضعت ذراعك باستقامة أمامك وحركته إلى الخلف وإلى الأمام. فإنك تشعر بسرعة التسارع وزيادة السرعة، دون أن تحدث خسائر لأن وزن ذراعك قليل وقوة القصور الذاتى محدودة. وعلى أية حال، إذا بلغ وزن أحد المبانى آلاف الأطنان وتعرض لنفس هذا التسارع فسوف يحدث هذا التسارع قوى هائلة للقصور الذاتى لا يستطيع المبنى أن يتحملها. وإذا استمرت هذه القوى فترة طويلة فربما انهار المبنى.

والمقياس العادى للتسارع يتم بإسقاط جسم سقوطا حرا تحت تأثير الجاذبية؛ وهذا هو شأن جميع الأشياء بغض النظر عن وزنها. فالتسارع نتيجة الجاذبية هو ٣٢ قدماً فى الثانية المربعة، ويرمز إليه بالرمز ١ ج ويستخدم كوحدة قياس مقارنة. وتبدأ المبانى الضعيفة فى تكبد الخسائر عند التسارع الأفقى ١,٠ ج. وفى التسارع بين ١,٠ حتى ٢,٠ يشعر الناس بعدم القدرة على الوقوف باتزان مثل وقوفهم فى ممر قطار يتحرك سريعا أو فى زورق صغير فى بحر لجي. ومن المشكلات التى تواجه مصممى المبانى أن يزيد تسارع الزلازل المحلية عن ١ ج. وفى التلال التى تعلو منطقة ترزانا فى كاليفورنيا أحدث زلزال نورثريدج فى ١٩٩٤ ظاهرة تسارعية مقدارها ١,٢ج رأسيا و١,٨ج أفقيا.

الفترة الزمنية للدورة والرنين

عند مناقشة الموجات الزلزالية تعرف الفترة الزمنية بأنها الزمن الذى تستغرقه الدورة الكاملة للمرور (الشكل ٣-٢٩). وتنطبق الفكرة بذاتها على المبانى. فمثلا، إذا تصورنا سارية طويلة للعلَم وضع فى أعلاها نسر معدنى؛ أولا، إذا هززت هذه السارية، فستعلم سريعا أنها تميل بقوة إلى الحركة إلى الأمام وإلى الخلف بمعدل معين ولفترة معينة. وإذا تأرجحت السارية دورة كاملة فى ثانيتين فإن فترتها الزمنية

ثانيتين. ثانيا، إذا بدأت الموجات الزلزالية ذات الفترة الزمنية ثانيتين تهز الأرض، فإن مقدار حركة السارية سيأخذ فى الزيادة. والسارية الآن ترن والقوى التى يجب أن تتحملها زادت. ثالثا، إذا اهتزت الأرض التى تقع عليها السارية كذلك بفترة زمنية قدرها ثانيتان، فإن الرنين يزيد أكثر، وربما أدى تزايد القوى المتولدة عن الرنين إلى تدميرها. وهذا المبدأ للفترات الزمنية المقتسمة التى تولد الرنين سبب شائع للانهيار الكارثى للمبانى أثناء الزلازل.

وحركة الأرض المعرضة للزلازل تسبب تأرجح المبانى لفترات زمنية معينة. والفترات الزمنية النمطية هى حوالى ١,٠ ثانية للمبانى ذات الدور الواحد، و ٥,٠ ثانية للمبانى ذات ٥ أدوار، وما بين ١ حتى ٢ ثانية للمبانى ذات ١٠ حتى ٢٠ دورا. وعموما، كلما ارتفع البناء طالت الفترة الزمنية. وقاعدة الرنين مفادها أن الفترات الزمنية للرنين فى المبانى تزيد حوالى ١,٠ ثانية لكل دور ارتفاع. والمبانى الأكثر مرونة (المصنوعة من الخشب أو الصلب) ذات فترات زمنية أطول؛ بينما المبانى الأكثر صلابة (المصنوعة من الطوب أو الخرسانة) ذات فترات زمنية أقصر. والفترات الزمنية الطبيعية للصخور الصلدة تبلغ حوالى ٥,٠ ثانية، بينما الرواسب اللينة ربما تتجاوز دقيقتين.

شدة الزلزال - ما الذى نشعر به أثناء الزلزال؟

نشعر أثناء عشرات الثوانى التى يستغرقها زلزال كبير بانتفاضنا إلى أعلى وإلى أسفل واهتزازنا من جانب إلى آخر. فهو شعور عاطفى؛ وتختلف مشاعرنا الشخصية باختلاف مواقعنا أثناء الاهتزاز وباختلاف نزواتنا الشخصية. ولكى تكون لرواياتنا الشخصية معنى لتوصيلها إلى الأجيال التالية يلزم ربطها برباط شائع يربط هذه الروايات بعضها ببعض. ففى أواخر العقد الأول من القرن التاسع عشر ظهرت مخططات وصفية مستندة على شدة الآثار التى تعرض لها الناس والمبانى. والمقياس الذى استخدم على نطاق واسع وضعه العالم الإيطالى جوزيبى ميركاللى فى عام ١٩٠٢؛ وعدله تشارلز ريختر فى عام ١٩٥٦. ويتكون المقياس من ١٢ قسما من الشدة المتزايدة المرقمة بأرقام لاتينية (الجدول ٣-٥).

وتستخدم مقاييس قوة الزلزال لتقدير الطاقة المنطلقة من الزلزال؛ بينما تقدر مقاييس شدة الزلزال الأضرار التى أحدثها للناس والمبانى (الجدول ٣-٦). وتم تجميع تقديرات شدة ميركاللى بسرعة وبفاعلية أكثر باستخدام الحاسبات الإلكترونية الشخصية. والآن يمكنك أن تضيف ملاحظاتك على أى زلزال بملء استبانة على شبكة الإنترنت وعنوانها: http: // pasadena. wr. usgs. gov / shake / .

متغيرات مقياس ميركاللى

تعتمد شدة أى زلزال على عدة متغيرات: (١) قوة الزلزال؛ (٢) المسافة من البؤرة/ المركز السطحى؛ (٣) نوع الصخر أو الرواسب التى تشكل سطح الأرض؛ (٤) نظام البناء - التصميم، ونوع مواد البناء، والارتفاع؛ (٥) زمن استمرار الهزة. وهذه العناصر يلزم وضعها فى الاعتبار عند تقدير تهديد الزلزال لأى إقليم وحتى لأى مبنى بذاته.

قوة الزلزال

تبدو العلاقة واضحة بين قوة الزلزال وشدته - فكلما كبر حجم الزلزال (زادت الطاقة المتصرفة)، زادت الحصيلة من الوفيات والدمار.

المسافة من البؤرة/ المركز السطحى

وتبدو العلاقة واضحة كذلك بين المسافة والخسائر؛ فكلما اقتربت بؤرة الزلزال/ مركزه السطحى زادت الخسائر. ولكن هذه القاعدة ليست مطلقة، كما يتضح ذلك فى الفصل الرابع من سلسلة الزلازل العالمية فى عام ١٩٨٩ (لومابريتا) وفى عام ١٩٨٥ فى مدينة مكسيكو سيتى.

مواد الأساسات

تحتل نماذج صخور أو رواسب الأساسات التى تشكل سطح التربة أهمية فائقة. فمثلا، تتذبذب الأساسات الصخرية الصلدة بترددات عالية ويمكن أن تتأثر بالموجات الأولية والثانوية النشطة الصادرة من مركز سطحى قريب؛ بينما تتذبذب الرواسب الرخوة أو المشبعة بالماء بترددات منخفضة؛ ويمكن أن تتمدد بالموجات السطحية الصادرة من زلازل بعيدة؛ كما أن المنحدرات غالبا ما تنهار على هيئة انزلاقات أرضية إذا تعرضت لهزة عنيفة.

نظام البناء

لنظام البناء أهمية قصوى. فما السبب فى الوفيات أثناء الزلازل؟ ليس السبب هو اهتزاز الأرض، بل اهتزاز المبانى والكبارى والمنشآت الأخرى التى تنهار وتسقط علينا. **فالزلازل لا تقتل ولكن المبانى هى التى تقتل**. فالمبانى ذات ترددات فى الاهتزاز بنفس معدلات الموجات الزلزالية. وتتزايد الترددات العالية لاهتزازات الموجات الابتدائية (الأولية) والثانوية بفعل: (١) مواد البناء الصلدة مثل قوالب الطوب والأحجار، (٢) المبانى القصيرة. فإذا بنى هذا النظام فوق أساسات عالية التردد من الصخر الصلد وكانت بالقرب من المركز السطحى لزم الحذر!

وتتزايد حركة الموجات السطحية ذات التردد المنخفض فى المبانى العالية ذات الترددات المنخفضة من التذبذب. فإذا كانت هذه المبانى العالية تقع كذلك فوق طبقة من الرمال أو الطين الرخوة والمشبعة بالماء ذات التردد المنخفض وكانت بعيدة عن الزلزال فربما وقعت الكارثة.

زمن استمرار الهزة

لم يوفَّ زمن استمرار الهزة حقه بصفته أحد العناصر الفعالة فى إحداث الخسائر فى الأرواح والممتلكات. تأمل أزمنة الهزات فى (الجدول ٣-٧). فمثلا،

إذا استمرت هزة زلزال قوته ٧ تهز بعنف لمدة ٥٠ ثانية بدلا من ٢٠ ثانية كانت الزيادة فى الخسائر فى الأرواح والممتلكات فادحة.

حاشية جانبية: تصميم المبانى فى المناطق المعرضة للزلازل

من المشكلات التى تواجه تصميم المبانى فى المناطق المعرضة للزلازل الحاجة إلى تجاهل حدوث الرنين. فكيف يكون ذلك؟ (١) غيِّر ارتفاع المبنى. (٢) اجعل معظم الأحمال (الأوزان) فى الطوابق السفلى. (٣) غيِّر شكل المبنى. (٤) غيِّر أنظمة مواد البناء. (٥) غيِّر درجات أربطة المبنى بقواعد أساساته. فمثلا، إذا كانت تربة الأساس صخرية صلدة تنقل بكفاءة ذبذبات (التردد العالى) ذات المدى القصير، فحينئذ تستطيع أن تبنى بناء أعلى يكون قابلا للانثناء. وإذا كانت تربة الأساس طبقة رسوبية سميكة (منخفضة التردد) ذات اهتزاز طويل المدى، فحينئذ تستطيع أن تبنى بناء أقصر وأقوى. أما بالنسبة لمواد البناء فالخشب مرن وخفيف الوزن وكتلته صغيرة وقادر على تحمل التسارع الكبير. وتتميز الخرسانة بقوة تضاغطية كبيرة ولكنها تعانى من الانهيار الهش بسهولة تحت جهد الشد. وللصلب قابلية للسحب والطرق وقوة شد عالية ولكن أعمدة الصلب تنهار تحت جهد التضاغط.

ومكونات البناء التى تتحمل حركة الأرض أساسية. ففى المستوى الأفقى توجد الأرضيات والأسقف والجمالونات (الشكل ٣-٣٣). وفى المستوى الرأسى توجد: (١) حوائط الحمل، (٢) الإطارات المقواة، (٣) إطارات مقاومة العزم.

الأرضيات والأسقف والجمالونات

تهيئ الأرضيات والأسقف والجمالونات الجيدة البناء المقاومة الأفقية للموجات الزلزالية حيث تعمل على نقل القوى الناجمة عن الزلزال إلى عناصر المقاومة الرأسية

(حوائط الحمل والإطارات). ومن المكونات المهمة فى قدرة البناء على المقاومة تأمين ربط الأرضيات والأسقف وتعشيقها فى الحوائط حتى لا تنفصل عنها وتنهار.

حوائط الحمل

تسمى الحوائط المصممة لتلقى القوى الأفقية من الأرضيات والأسقف والجمالونات ولتنقلها إلى الأرض بحوائط الحمل. ففى البناء يجب أن تكون حوائط الحمل قوية وجيدة الربط الآمن بينها وبين بعضها وكذلك بينها وبين العناصر الأفقية. وفى المبانى البسيطة تحرك الطاقة الزلزالية الأرض محدثة قوى القصور الذاتى التى تحرك العناصر الأفقية: وهذه الحركة تقاومها حوائط الحمل، وتنتقل القوى عائدة إلى الأرض.

«والمنزل المبنى من أوراق اللعب» مبنى على حوائط الحمل، رغم أن كل حائط ليس قويا بالقدر الكافى. ويجب أن تكون زوايا الحوائط قائمة ويفضل أن تكون مصفوفة بنظام بسيط (الشكل ٣-٣٤). ويمكن تقوية هذا المنزل المبنى من أوراق اللعب بالقدر الكافى إذا ربطت جيدا العناصر الأفقية والرأسية فيها.

والبناء الذى يبنى عادة بعدد غير كاف من حوائط الحمل هو موقف السيارات المتعدد الطوابق. فالبناؤون لا يريدون إضافة التكلفة بإضافة حوائط أكثر، تقلل من الفراغات اللازمة لتوقيف السيارات وتقيد حركة المرور داخل مبنى المواقف.

الإطارات المقواة

والدعم طريقة أخرى تضفى على البناء قدرة على مقاومة الزلازل. فالدعامة توفر القوة للمبنى وتهيئ المقاومة لحركات الأرض إلى أعلى وإلى أسفل وإلى الأجناب (الشكل ٣-٣٦). وينبغى أن تكون المواد المستخدمة فى الدعم لدنة بحيث تتوافر فيها القدرة على التشكل دون الانهيار أو التمزق.

إطارات مقاومة العزم

والمبانى ذات الإطارات المقاومة للعزم مبان نمطية من الصلب ذات وصلات صلبة ملحومة. وتهيئ منظومة الإطارات المتكاملة من الصلب اللدن كثيرا من المقاومة لقوى الزلازل. فإطارات مقاومة العزم يفضلها الكثير من المهندسين المعماريين اليوم لأنها تهيئ فراغات أوسع من البناء ذى حوائط الحمل. ويهيئ حرية أكثر للتصميم الجمالى واستغلالا أفضل للفراغات الداخلية.

عزل الأساسات

عندما تهتز الأرض، تنتقل الطاقة إلى المبانى. فكيف يمكن إنقاذ المبانى من هذه الطاقة المدمرة؟ تستخدم التصميمات الحديثة عزل الأساسات حيث توضع وسائل على الأرض أو فى البناء لتمتص جزءا من طاقة الزلزال. فمثلا، تصور أنك واقف على حمالة منزلقة أثناء الزلزال؛ فهل تتحرك بقدر حركة الأرض؟ فعزل الأساسات يستخدم عجلات ورمانات بلى وروادع ارتجاج ووِردًا مطاطية وتصميمات إبداعية أخرى لعزل المبنى عن أسوأ الهزات (الشكل ٣-٣٧).

حالة تاريخية عن متغيرات ميركاللى

زلزال وادى سان فيرناندو بكاليفورنيا فى ١٩٧١

حدث زلزال (سيلمار) بوادى سان فيرناندو فى يوم ٩ فبراير ١٩٧١ فى القسم الشمالى الغربى من مدينة لوس أنجلوس الضخمة فى الساعة ٦ صباحا محدثا ٦٧ وفاة (بما فيهم من أزمات قلبية). ومن أكثر العناصر حرجا فى تقرير الخسائر فى الأرواح من الزلازل عنصر الوقت من اليوم الذى تحدث فيه. ففى كاليفورنيا بالنسبة لمعظم الناس يعتبر أفضل وقت لحدوث الزلزال عندما يكونون فى منازلهم؛ والمنازل

النمطية ذات الطابق الواحد أو الطابقين والمنازل ذات الإطارات الخشبية هى عادة الأكثر أمنا.

قوة الزلزال

وقوة الزلزال ٥ر٦ على مقياس ريختر ذات ٣٥ تابع بقوة ٠ر٤ أو أعلى تحدث فى السبع دقائق الأولى بعد الهزة الرئيسية. وفى هذا تفريغ لقدر كبير من الطاقة فى المناطق المدنية.

المسافة من المركز السطحى

والمسافة من المركز السطحى متغير ثابت تماما فى هذا الحدث. ونموذج عين الثور الأكثر انتظاما الناتج عن وضع كنتورات للخسائر موضح فى التسلسل الرقمى لميركاللى (الشكل ٣-٣٨).

مواد الأساسات

ليست نماذج مواد الأساسات عنصرا حيويا فى هذا الحدث.

نظام البناء

والمشكلة الكبرى تقع فى المبانى والكبارى والسدود الضعيفة التصميم؛ إذ قتل ثلاثة أشخاص فى مستشفى أوليف فيو عند انهيار دورها الأول الهش المكون فى معظمه من نوافذ ذات ألواح زجاجية كبيرة. ومبانى الدور الأول الهش تحمل الوزن الثقيل للأدوار العليا بدون حوائط حمل كافية أو إطارات مدعمة تتحمل التسارع الأفقى

(الشكل ٣-٣٩ أ). ولا يزال الكثير من هذه المبانى قائما رغم استثنائه المعروف من السقوط أثناء الزلازل (الشكل ٣-٣٩ب).

وتسبَّبَ انهيار مستشفى آخر فى وفاة ٤٧ شخصا. وبعض المبانى المنشأة قبل عام ١٩٣٣ فى مستشفى إدارة المحاربين القدماء استخدمت قوالب الطوب المفرغ لبناء حوائط صممت فقط لتحمل الأحمال الرأسية. وتحطمت الكثير من قوالب الطوب الصلصالية المفرغة تحت وطأة التسارع الأفقى الذى يماثل ١,٢٥ ضعفًا من الجاذبية.

وانهارت جسور (كبارى) الطرق السريعة فقتلت ثلاثة أشخاص. فالجسر المقام على الطريق السريع كتلة أفقية ثقيلة (على سطح الطريق) محمل أعلاها على أعمدة رأسية. وأدى تأرجح هذه الكتل العلوية الثقيلة ذات الأربطة الضعيفة بين عناصرها الأفقية والرأسية إلى الانهيار حين تحركت الأعمدة للخارج تحت أسطح الطريق المرتفعة (الشكل ٣-٤٠). والدروس المستفادة من الانهيارات التى حدثت فى عام ١٩٧١ لم تطبق جيدا حتى عام ١٩٨٩، عندما انهار الطريق العلوى بين الولايات رقم ٨٨٠ فى أوكلاند أثناء سلسلة الزلازل العالمية وقتل فيه ٤٢ شخصا.

مدة استمرار الاهتزاز

استمرت الهزة الأرضية العنيفة ١٢ ثانية. وتحدث الهزات النمطية فى زلزال قوته ٦ لمدة تتراوح من ١٠ حتى ٣٠ ثانية (الجدول ٣-٧). والوقت القصير نسبيا للهزات العنيفة فى وادى سان فيرناندو ذو أهمية كبرى. وكان الخزان الأدنى فى فان نورمان يحتفظ بماء قدرة ١١٠٠٠ إيكر - قدم(*) عند حدوث الزلزال. وكان السد مشيدا فى عام ١٩١٢ على أنه بناء لتخزين الماء حيث يصب الماء والرواسب فى نطاق يحتفظ بكتلة ضخمة؛ وهذه ليست هى الطريقة الصحيحة لبناء السدود القوية. وفى أثناء الزلزال بدأ السد فى الانهيار بانزلاق أرضى وفقد ٣٠ قدما من ارتفاعه (٨٠٠٠٠ ياردة مكعبة من كتلته)

(*) إيكر - قدم = ٣٢٦,٠٠٠ جالون = ١,٢٢٠م^{٣}. (المترجم)

ولم يبق فوق سطح الماء سوى ٤ أقدام فقط حين توقف الاهتزاز (الشكل ٣-٤١). فماذا كان يحدث لو أن الاهتزاز استمر خمس ثوان أخرى؟ وخلف السد يعيش ٨٠٠٠٠ نسمة.

نتعلم من الماضى لنخطط للمستقبل

أوضح زلزال وادى سان فيرناندو فى عام ١٩٧١ بجلاء المخاطر التى يتعرض لها الإقليم. صدقت العبارة الفصحى القائلة أن «الماضى ما هو إلا مقدمة» وأن «من يتجاهل دروس التاريخ أحرى بأن يكررها». فكم تعلمنا من دروس فى عام ١٩٧١؟ لقد وقع اختبار أليم فى يوم ١٧ يناير ١٩٩٤ عندما ضرب زلزال قوته ٦ر٧ نورثريدج المنطقة الملاصقة مباشرة (انظر الفصل الرابع). مات فى ذلك الوقت ٦١ شخصا وبلغت الخسائر ٣٠ بليون دولار. وانهارت نفس الأنظمة فى البناء، وسقطت الكبارى على الطرق السريعة. فلم يتعلم الناس كثيرا من دروس ١٩٧١.

موجز

غالبا ما تحدث الزلازل التى تهز الأرض من حركات مفاجئة على طول شروخ فى الأرض تدعى الصدوع. وبعض الصدوع الكبرى النشطة منذ ملايين السنين لها شعب فى طبقات الصخور طولها مئات الكيلومترات. وطبقات الصخور الرسوبية مستمرة فى الأصل وأفقية ومتراصفة فى طبقات منتظمة (الأقدم عند القاع والأحدث عند القمة)؛ وعلى أية حال، تقطع حركات الصدوع الصخور فى كتل غير منتظمة، وفى بعض الأماكن تحدث تشوهات الصدوع ميولا فى طبقات الصخور وربما تقلب نظام تطابقها. ويقيس علماء الجيولوجيا اتجاهات الأبعاد الثلاثة لطبقات الصخور عن طريق الميل (زاوية واتجاه الميل) والمضرب (اتجاه زاوية البوصلة للصخور القاطعة للمستوى الأفقى).

فنماذج صدع الميل المنزلق لها حركات عمودية شائعة. وتحدث الصدوع العادية بقوى تمددية (تباعدية). وتحدث الصدوع المعكوسة بقوى تضاغطية (تندفع تجاه بعضها البعض). ونماذج صدع المضرب المنزلق تشيع فيها الشعب الأفقية. وعندما نمتطى الصدع، فإذا تحرك الجانب الأيمن نحوك فهو صدع يمينى جانبى؛ وإذا تحرك الجانب الأيسر نحوك فهو صدع يسارى جانبى. والثنيات (الدرجات) فى صدوع المضرب المنزلقة تحدث فى الأرض إما ارتفاعا أو هبوطا. وهناك نوع آخر من الصدوع يصل شُعَبَ أقسام مراكز الانتشار يسمى بالصدوع التحويلية.

وتنتشر الزلازل (الهزات) طاقتها فى موجات زلزالية تتوزع من البؤرة أو من نقطة كسر الصدع. وتسمى النقطة على السطح الواقعة فوق كسر الصدع بالمركز السطحى أو نقطة فوق السطح. وتمر بعض الموجات الزلزالية فى باطن الأرض - الموجات الابتدائية (موجات أولية ذات حركة ضغط وشد) وموجات ثانوية (موجات ثانوية ذات حركة قص). وتمر موجات زلزالية أخرى على طول سطح الأرض (موجات لاف وموجات رايلى).

وتقدر طاقة الزلزال بقوته. وقد اشتقت مختلف التقديرات من مختلف الوسائل على أساس الهزة المحلية (مقياس ريختر)، أو الموجات الداخلية (m_b)، أو الموجات السطحية (M_S)، أو عزم قوة الاهتزاز (M_W). ويحدث أكثر من مليون زلزال للأرض كل عام، ولكن أكثر من ٩٠٪ من طاقتها تتصرف فى أكبر ١٢ حتى ١٨ حدثا.

والموجات السنامية أضخم الموجات على الإطلاق. وتعمل الزلازل والثورات البركانية والانزلاقات الأرضية وارتطام الكويكبات على اضطراب الكتل المائية العميقة فى المحيطات بدفع أمواج نشيطة. والموجات السنامية التى تحدثها الزلازل عادة ما تجرى بسرعة تزيد عن ٥٠٠ ميل/ساعة وربما انفصلت عن بعضها لمدة ٦٠ دقيقة. وتتباطأ الموجات السنامية فى المياه الضحلة ولكنها لا تزال تتحرك بسرعات عالية. وربما ركزت التضاريس الطبوغرافية المحلية مثل الموانى والخلجان الصغيرة طاقة الموجات السنامية محدثة أمواجا تزيد عن ١٠٠ قدم فى الارتفاع، وتقتل آلاف البشر.

وللموجات الزلزالية فترات زمنية مختلفة (الزمن بين الدورات) وترددات (عدد الدورات فى وحدة الزمن): فالمدة الزمنية = ١/التردد. والموجات الابتدائية عادة لها من واحد حتى ٢٠ دورة فى الثانية؛ بينما الموجات السطحية عادة لها دورة واحدة كل واحد حتى ٢٠ ثانية. وعندما تماثل ترددات الموجات الزلزالية ترددات الاهتزازات فى الأساسات والموانى ربما يزيد الدمار.

وتقدر آثار الزلازل على المنشآت والبشر بمقياس ميركاللى لشدة الزلزال. فمتغيراته هى قوة الزلزال والمسافة من بؤرته/ مركزه السطحى، ونوع صخر أو رواسب الأساسات، ونظام البناء ومدة استمرار الاهتزاز. ومقياس ميركاللى لشدة الزلزال مجرد اهتمام علمى لأن **الزلازل لا تقتل ولكن المبانى هى التى تقتل**.

مصطلحات للمذاكرة

تسارع – عجلة	acceleration
عزل القاعدة	base isolation
قبل الزمن الحالى (ق.م.)	B. C. E.
موجة داخلية	body wave
الزمن الحالى (ميلادية)	C. E.
قطاع مقطعى	cross section
ميل	dip
صدع ميل منزلق	dip- slip fault
ليونة – قابلية للسحب والطرق	ductility
صدع	fault
أرضية المنجم	footwall
كسر – شق	fracture
تردد – تكرار	frequency
صخر نارى – جرانيت	granite

hangingwall	سقف المنجم
hypocenter	بؤرة
inertia	القصور الذاتى
joint	مفصل - نقطة اتصال
Law of Original Continuity	القانون الأصلى للاستمرار
Law of Original Horizantality	القانون الأصلى للتسطح الأفقى للطبقات
Law of Superposition	قانون أقدمية التطابق
left lateral fault	صدع يسارى جانبى
magnitude	قوة
map	خريطة
normal fault	صدع عادى
period	مدى - فترة زمنية
permeability	نفاذية
primary or P wave	موجة ابتدائية
secondary or S wave	موجة ثانوية
seiche	موجة عارمة فى بحيرة أو خليج
seism	زلزال
seismic wave	موجة زلزالية
seismogram	رسم تسجيلى للزلزال
seismograph	مرسمة - مسجل الزلزال
seismology	علم الزلازل
seismometer	مقياس الزلازل (قوة - مدة - اتجاه)
stress	إجهاد
strike	مضرب
strike- slip fault	صدع مضرب منزلق
surface wave	موجة سطحية

صدع تحويلى	transform fault
موجة سنامية فى المحيط	tsunami
طول الموجة	wavelength

أسئلة للمراجعة

١ - ارسم قطاعا مقطعيا لسلسلة من الطبقات الصخرية الرسوبية. واذكر أسماء أجزائها واشرح القانون الأصلى للاستمرار والقانون الأصلى للتسطح الأفقى للطبقات وقانون أقدمية التطابق؟

٢ - ارسم قطاعات مقطعية للصدع العادى والصدع المعكوس. وما هى القوى المختلفة التى تقرر نوعه؟

٣ - ارسم خريطة لصدع يمينى جانبى متدرج لليسار. واشرح ماذا يحدث للأرض عند الثنية (الدرجة) فى الصدع؟

٤ - ارسم خريطة تخطيطية لصدع مضرب منزلق وصدع تحويلى. واشرح أوجه الشبه والخلاف بينهما؟

٥ - ما الذى تخبرنا به الموجات الزلزالية الابتدائية والثانوية عن طبيعة باطن الأرض؟

٦ - كيف نستخدم أزمنة وصول الموجات الزلزالية الابتدائية والثانوية لتقدير مسافة المركز السطحى؟

٧ - كيف يمكن تمييز الهزات الإنذارية من الهزات التابعة؟

٨ - ما هو الفرق بين قوة الزلزال وشدة الزلزال؟

٩ - هل تتأثر المبانى العالية بالموجات الزلزالية عالية التردد أكثر أم بالموجات المنخفضة التردد؟ ولماذا؟

١٠- ما هى سرعة جريان الموجة السنامية؟ ما هى أطول الموجات السنامية النمطية وما هى فتراتها الزمنية؟ وما الذى يُحْدِث الموجة السنامية؟

١١- هل ترجع قدرة الموجات السنامية على القتل أكثر إلى ارتفاع الموجات أم إلى طول الموجات الذى يسمح لها باجتياح اليابسة؟

أسئلة لمزيد من التأمل

١ - ارسم قطاعا مقطعيا يوضح صدعا مائلا وتقع بؤرته على عمق ١٥ كم (٩ أميال). وهل يقع المركز السطحى فوق آثار سطح الصدع؟

٢ - ما هى إمكانات حدوث الزلازل على القمر (زلازل قمرية)؟ وهل للقمر أرقام مماثلة لشدة الزلزال وقوته لما للأرض؟ ولماذا؟

٣ - إذا كنت تطير بالطائرة فوق المركز السطحى لزلزال كبير فماذا يحدث لك؟

٤ - كيف يعتبر منزلك أو مكتبك آمنا من الزلازل؟ وما هى أقرب الصدوع إليه؟ وما نوع مادة التربة التى بنى عليها منزلك أو مكتبك؟ كيف يكون رد فعل حجم وشكل ومواد بناء منزلك للهزة الأرضية؟ وما هى المعالم القريبة من منزلك التى يمكن أن تؤثر عليه؟ وما هى المخاطر التى تحدث داخل منزلك؟

٥ - ضع قائمة بأوجه التشابه بين طقطقة أصابعك وحركة الزلزال فى الصدع؟

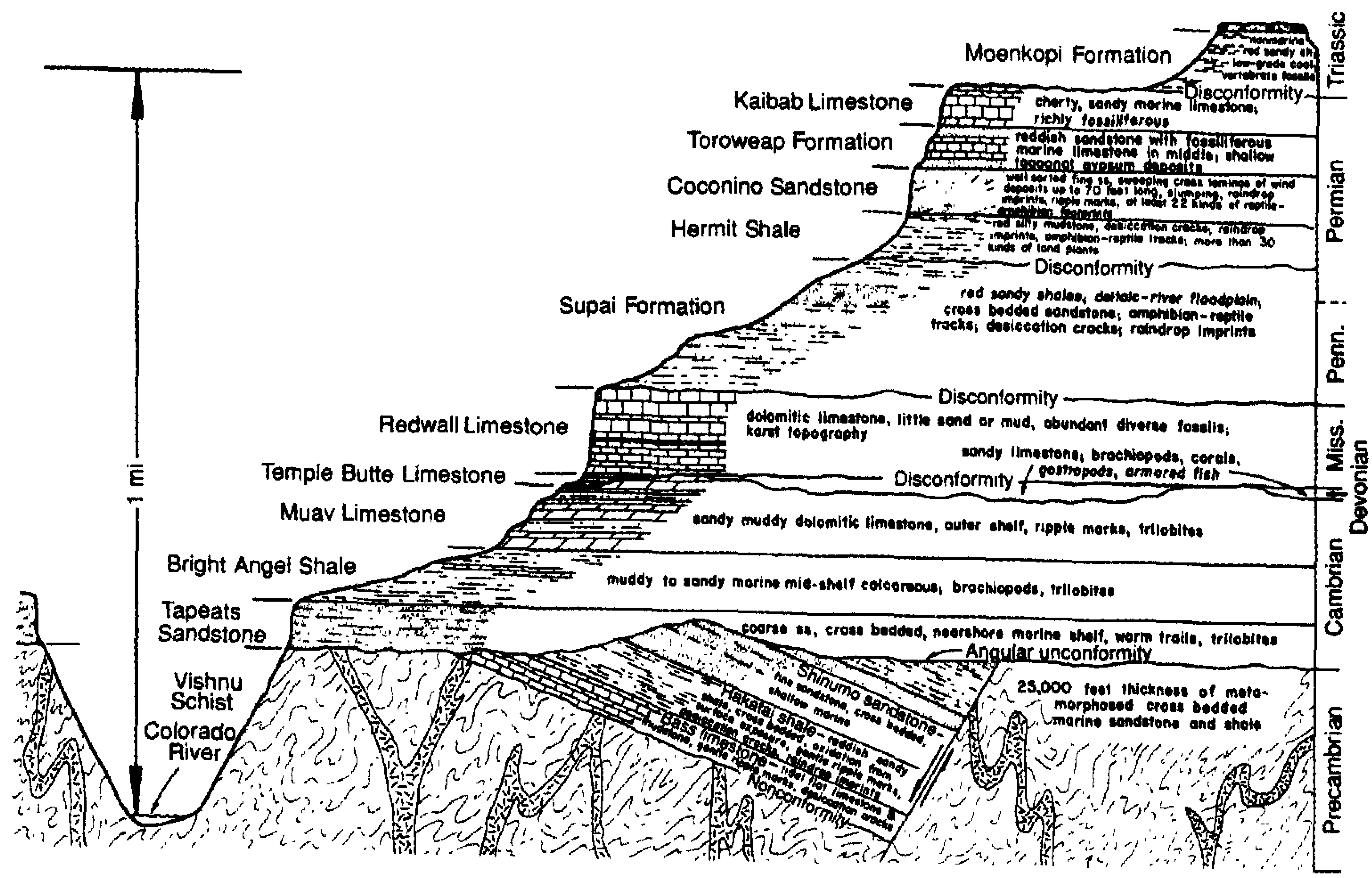
أشكال الفصل الثالث



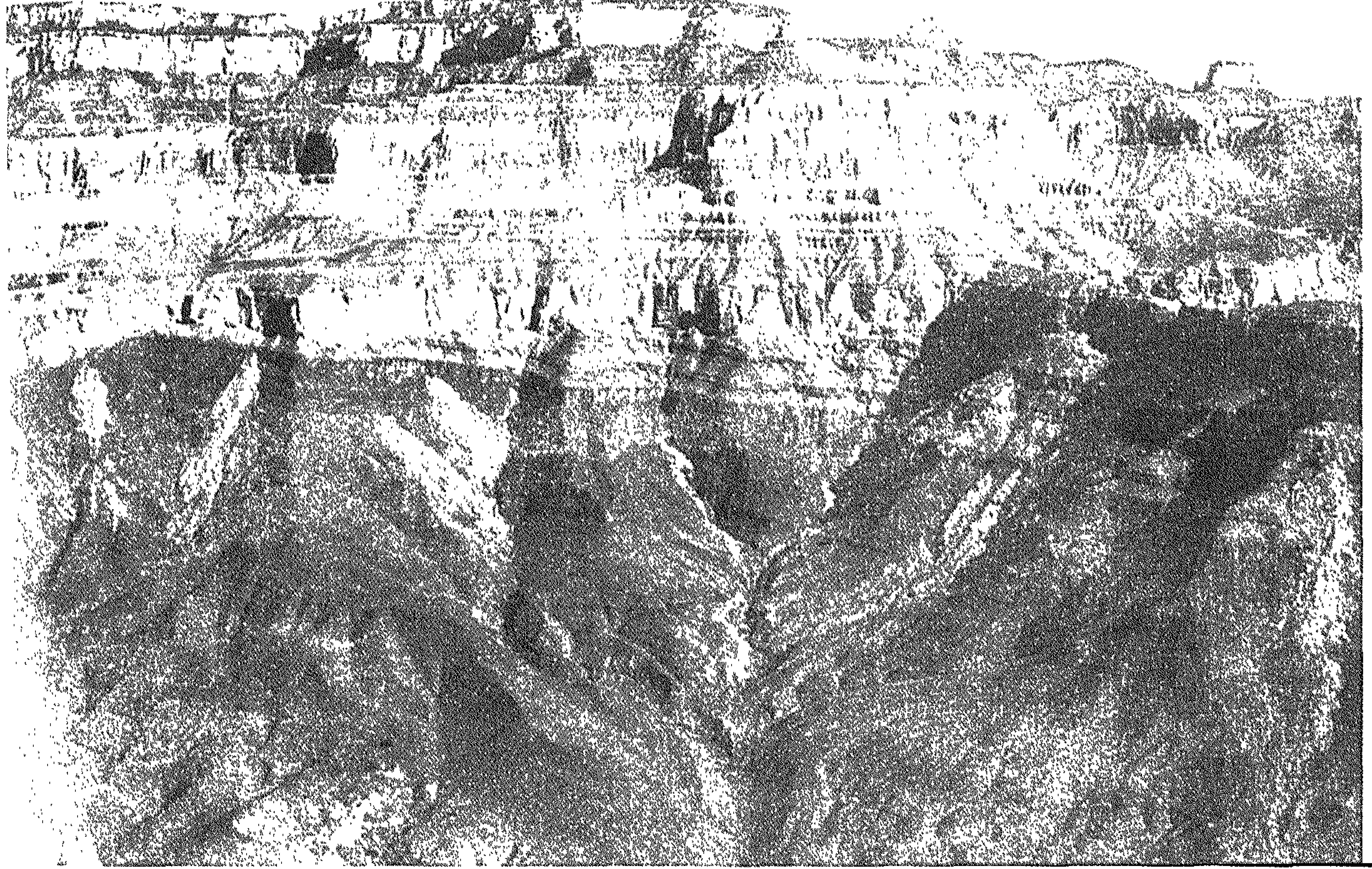
الشكل (٣-١) زلزال لشبونة.



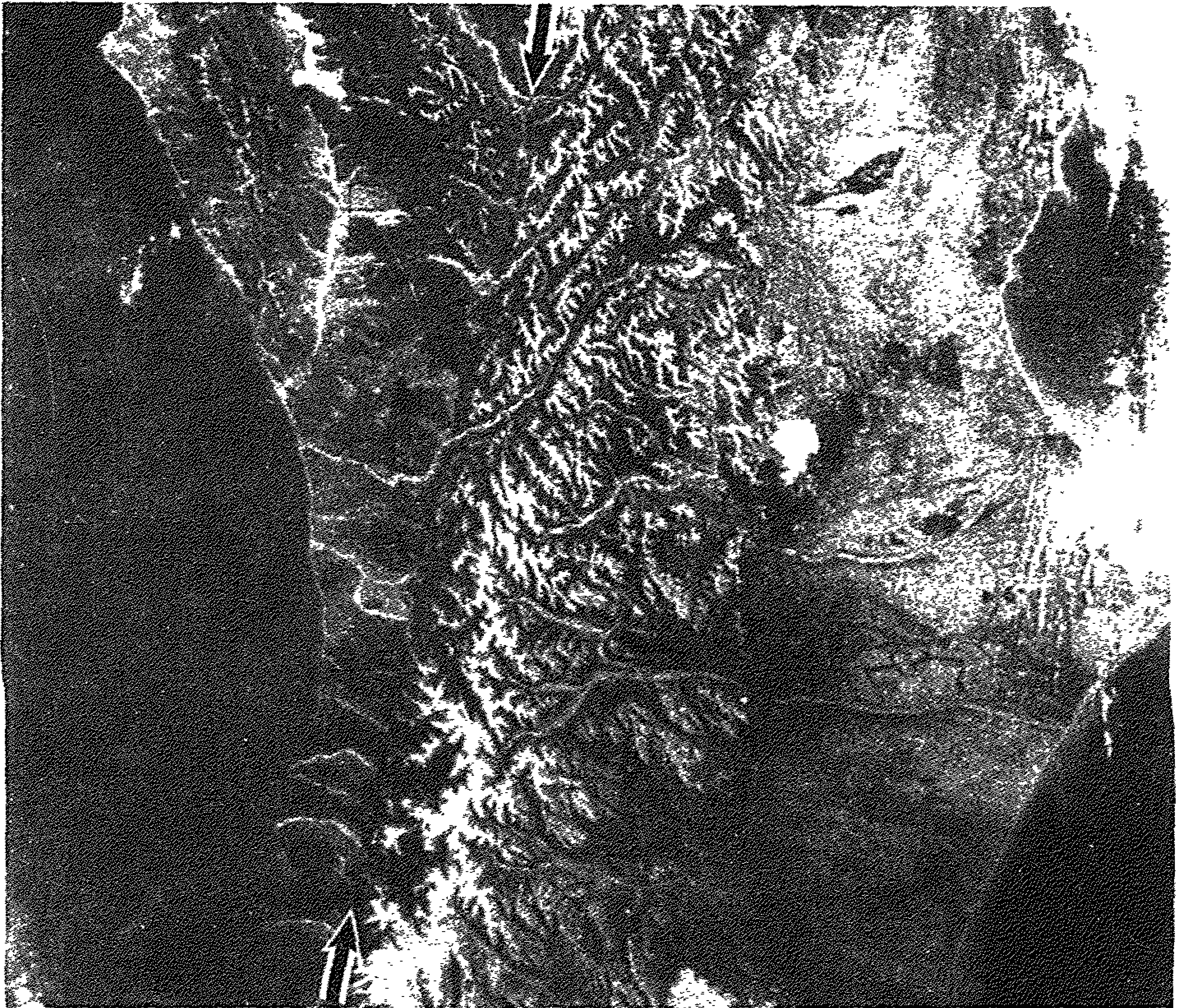
الشكل (٣-٢) قسم من أرض زراعية محروثة ومخططة وبها حركة صدع إمبريال فى عام ١٩٧٩ فى أقصى جنوبى كاليفورنيا. المنظر متجه إلى الشرق بينما الجزء الغربى من الصدع (القريب منك) تحرك شمالا (إلى يسارك).



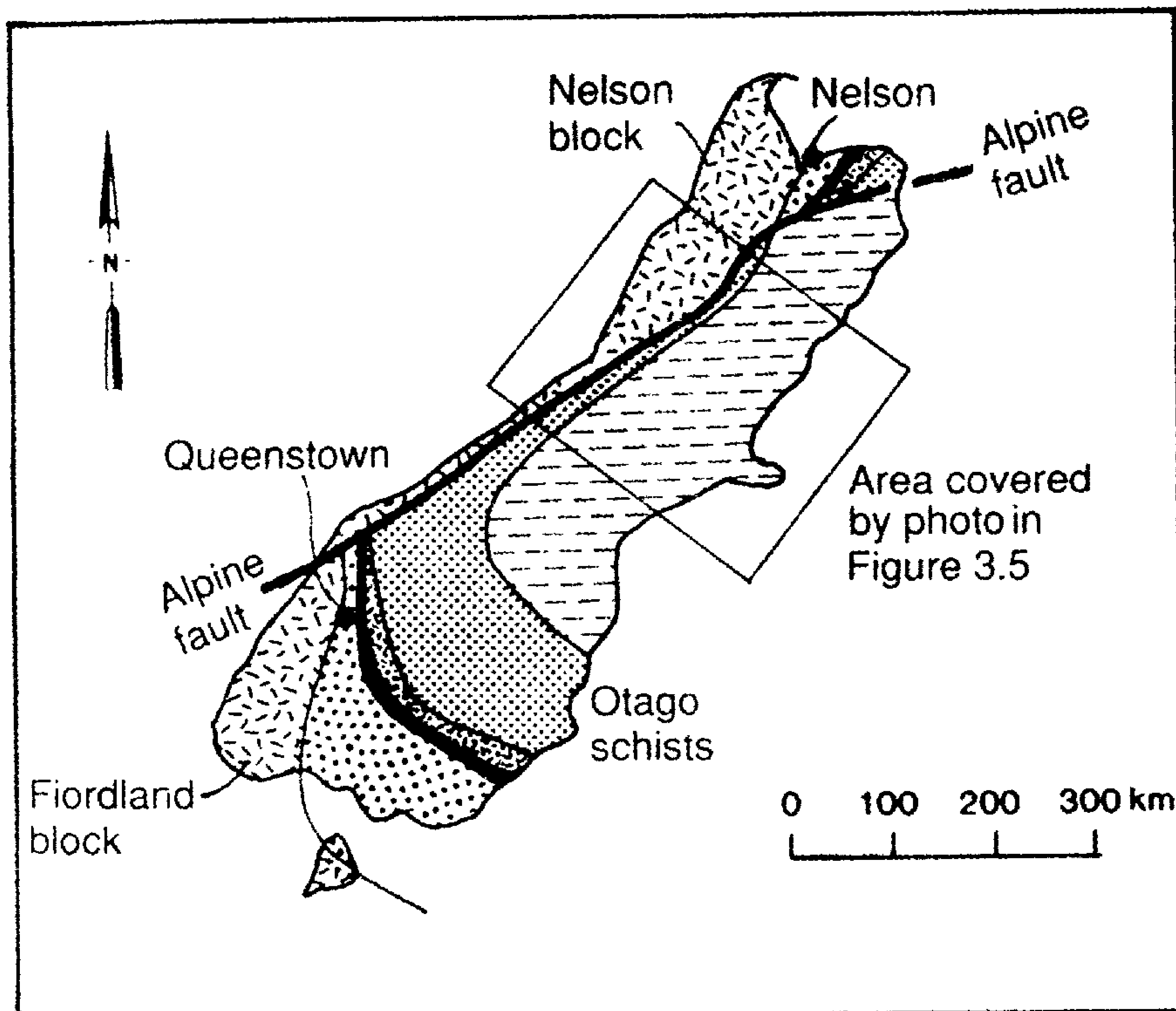
الشكل (٣-٣) قطـاع مقطعـي تمثيلي للخانـق العظيم (جراند كانيون) في آريزونا. وتتضح فيه التواريخ الجيولوجية في مختلف المستويات. (١) فأقدم الصخور أسفلها؛ فهي موضوعة كرواسب في مياه بحرية، ثم دفنت إلى أعماق كبيرة وتحولت بالضغط والحرارة (بنظرية تحول الصخور)، ثم تعرضت في السطح ثانية للارتفاع والتحات. (٢) وترسبت الرواسب الأحدث في المياه البحرية الضحلة على شكل طبقات أفقية فوق الصخور الأقدم التي تشوهت (مثل الحجر الرملي سينومو)؛ وهذه الطبقات مالت وارتفعت فوق مستوى سطح البحر وتحاتت. (٣) وعادت البحار وتكونت طبقات رسوبية أفقية أخرى، مكوِّنة سلسلة رسوبية سميكة تقطعها فترات من التحات وترسيب طبقات رسوبية غير بحرية. (٤) وارتفع الإقليم، رافعا طبقاته فوق مستوى سطح البحر. وجرى نهر كولورادو فنحت مجراه مكونا الخانق العظيم.



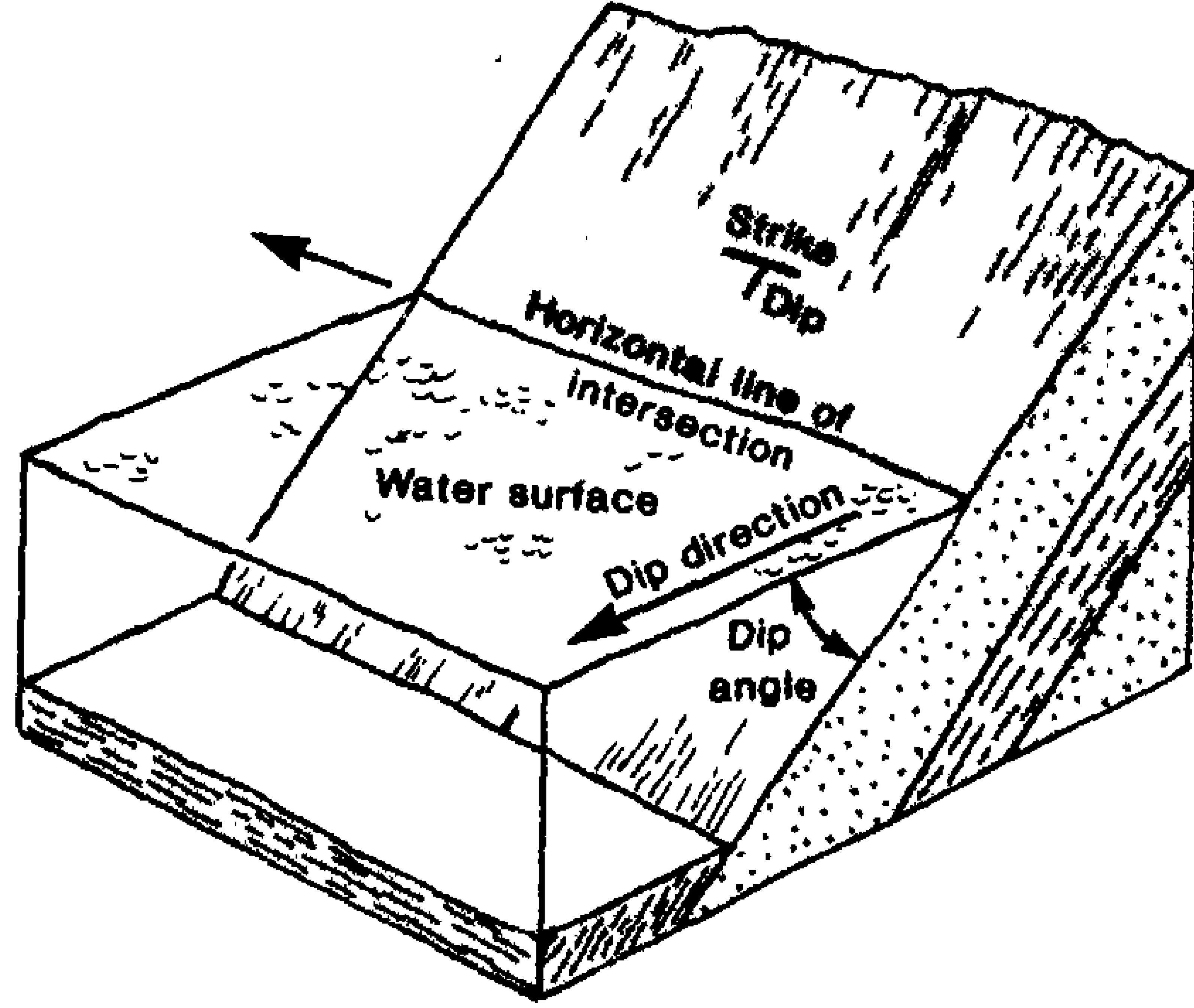
الشكل (٣-٤) الحائط الشمالى للخانق العظيم. ففى أسفل الخانق تميل طبقات الصخر الرسوبية التى كانت أفقية ناحية الشرق. ونهاياتها المائلة إلى أعلى تحاتت واندفنت تحت صخور تابيتس الرملية وطبقات الصخور الأحدث.



الشكل (٣-٥) صورة جوية للجزيرة الجنوبية فى نيوزيلاند (انظر الموقع فى الشكل ٣-٦). ويقطع صدع ألباين على شكل شرطة مائلة من نقطة بالقرب من أسفل الركن الأيسر للصورة (الجنوب الغربى) إلى أعلى المنتصف (الشمال الشرقى). وتحدد رءوس السهام حدود الصدع.

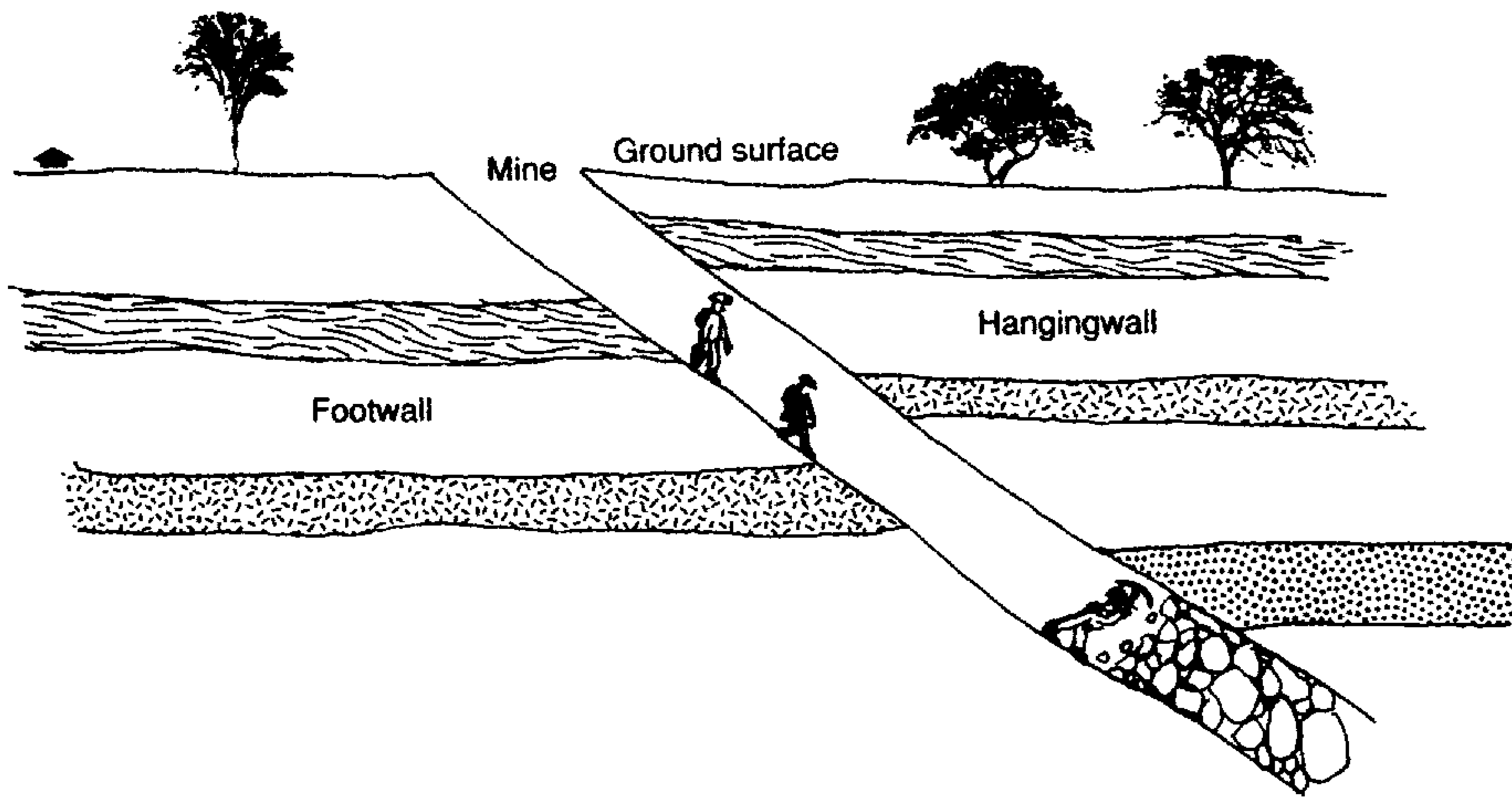


الشكل (٣-٦) خريطة جيولوجية عامة للجزيرة الجنوبية فى نيوزيلاند. ويبين كل نموذج فى الصورة نوعا مختلفا من الصخر. حدد موقع صدع آلباين ثم قارن نماذج الصخر حول الصدع. وتشعبت الصخور الحاملة للذهب بالقرب من كوينزتاون إلى ٤٨٠ كم بالقرب من نيلسون.

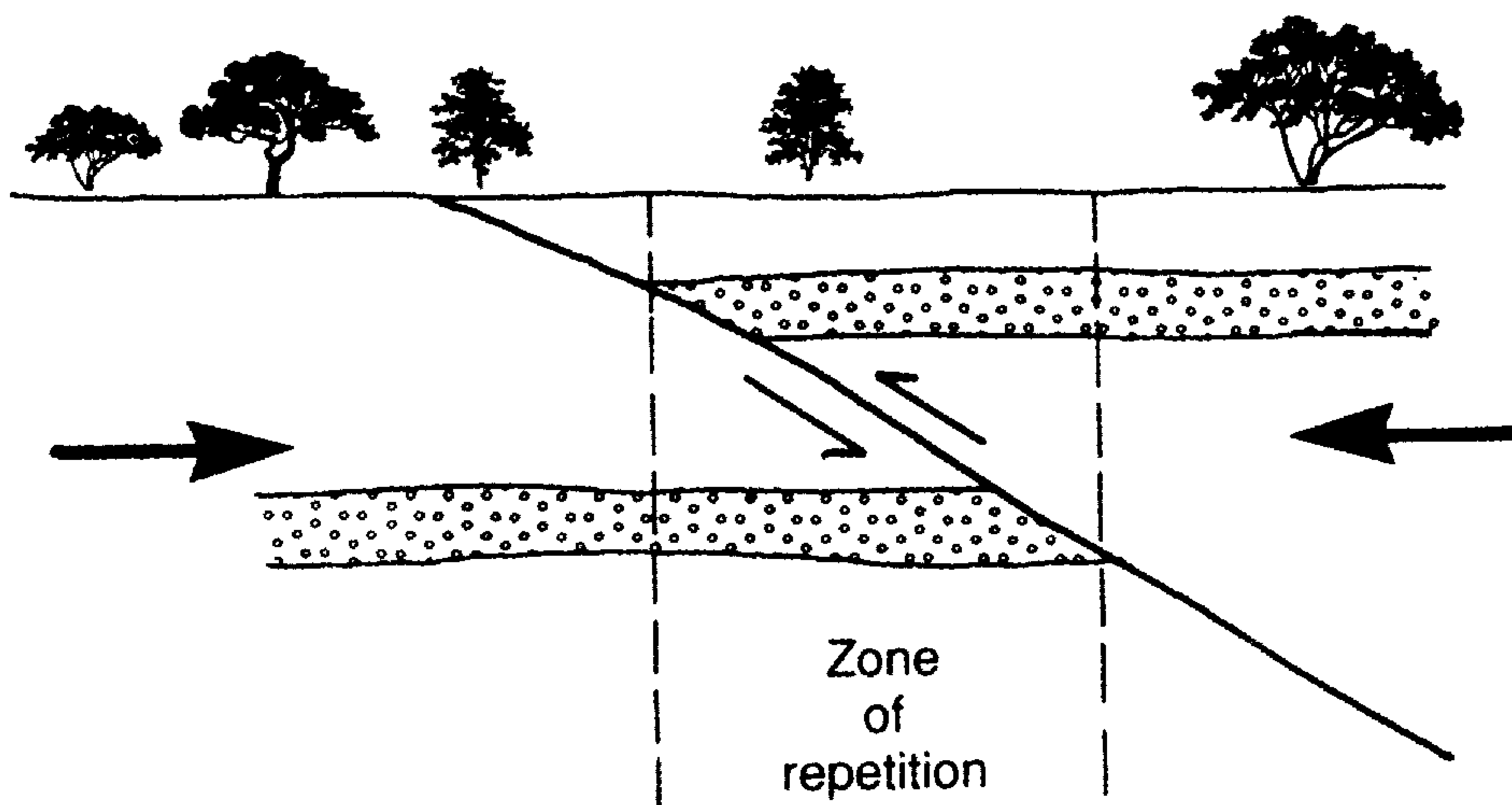




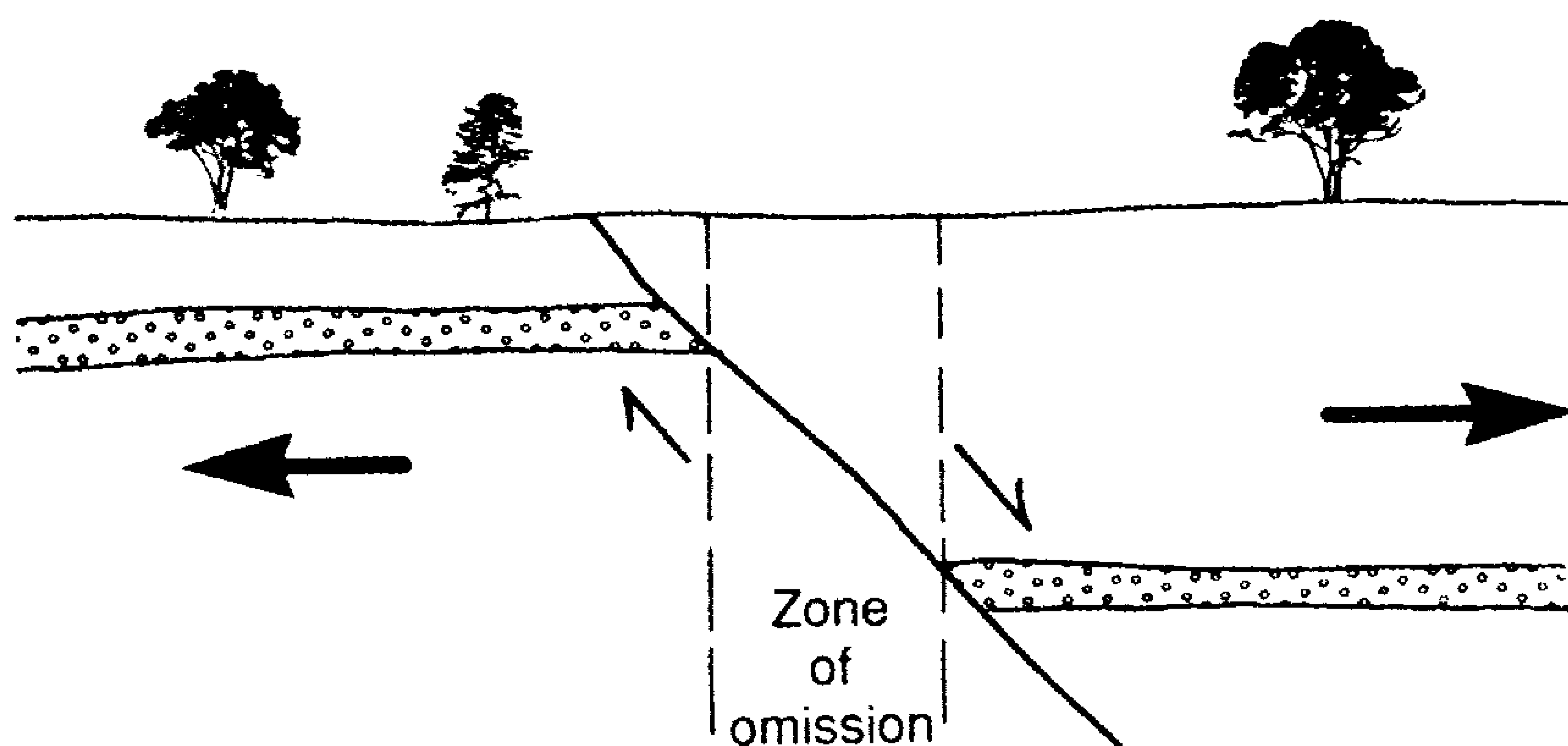
الشكل (٣-٧) (أ) طبقة من الحجر الرملى فى خليج لاجولا فى كاليفورنيا عمرها ٧٥ مليون سنة، معرضة للمد المتوسط الارتفاع. ويشكل سطح البحر مستوى أفقيا مقابل القاع المائل للحجر الرملى. (ب) ومضرب الطبقة الصخرية هو زاوية اتجاه البوصلة «لخط الشاطئ». وزاوية الميل هى عدد الدرجات أسفل السطح الأفقى الذى تميله طبقة الصخر.



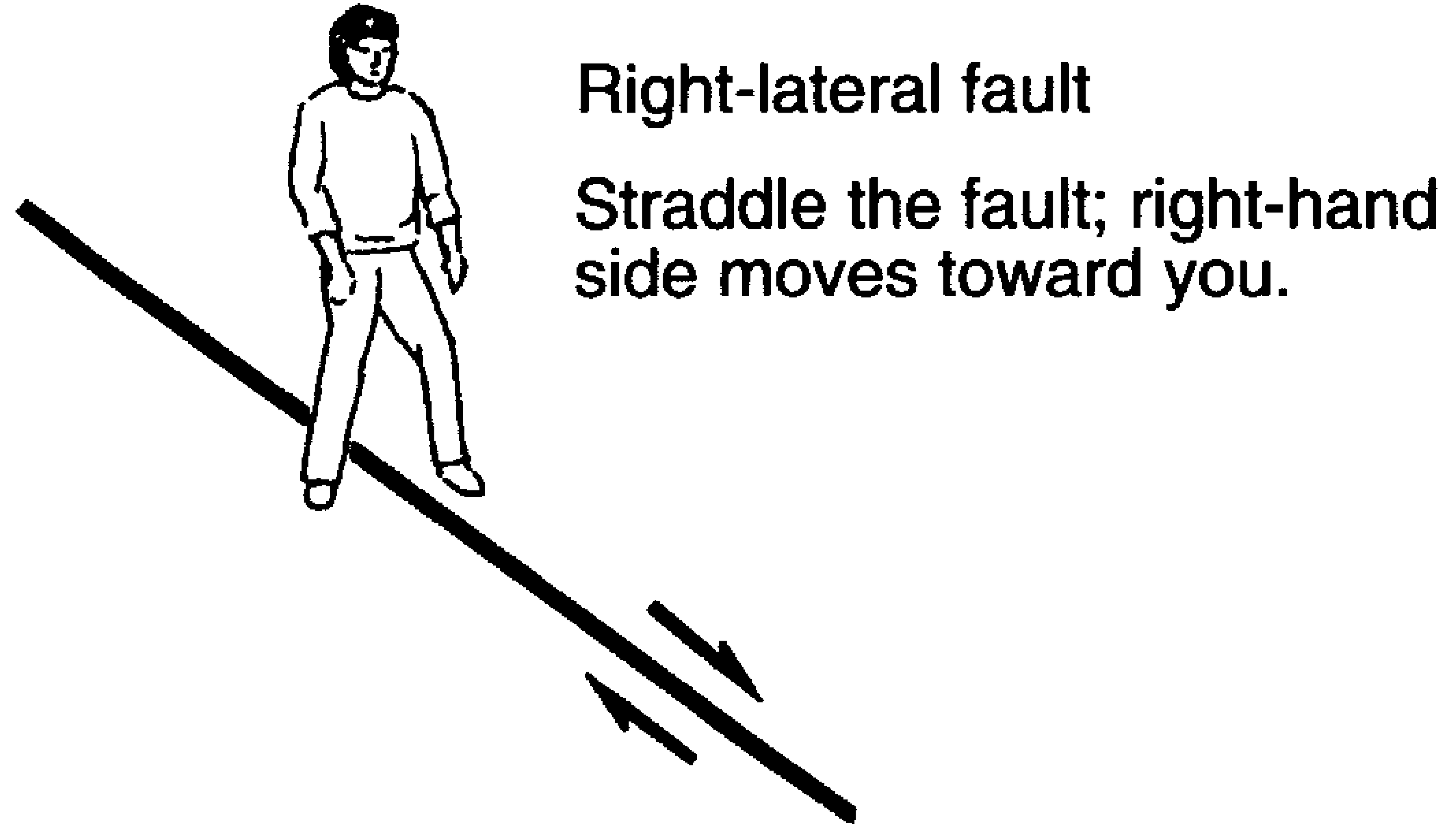
الشكل (٣-٨) قطاع مقطعى تخطيطى لعمال المناجم يستخرجون الخامات المنتشرة في الصخور المتكسرة فى منطقة صدع قديم. لاحظ أن طبقات الصخر فى الجدار السفلى والجدار العلوى (المعلق) ليست مستمرة؛ وهذا دليل على أن هناك حركات حدثت على طول الصدع فى الماضى.



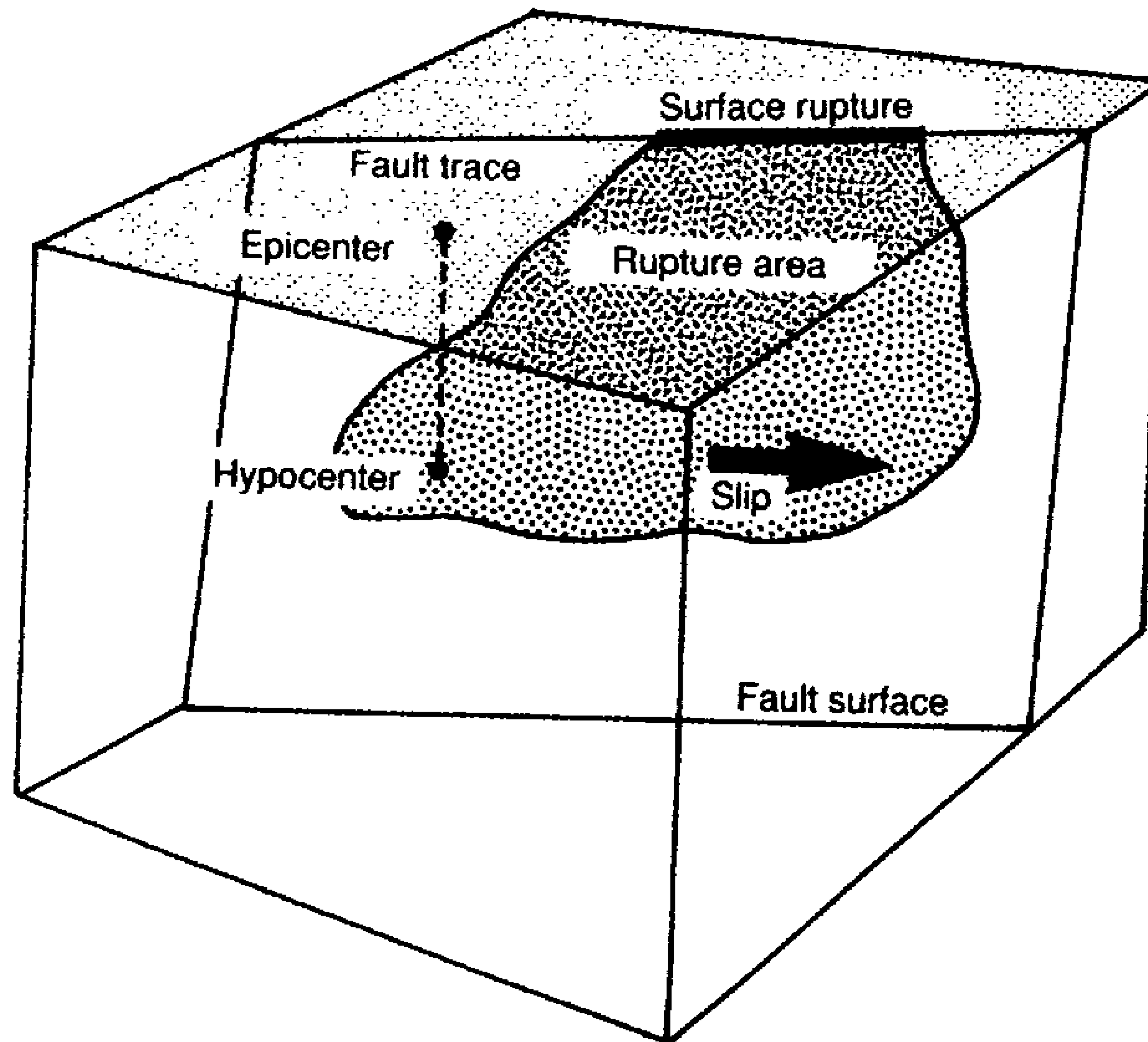
الشكل (٣-٩) قطاع مقطعى تخطيطى لصدع عادى، أى أن الحائط العلوى تحرك إلى أسفل (بمفهوم نسبى). وتؤكد منطقة الحذف (الإغفال) وجود قوى توسعية (تمددية)، حيث لا توجد طبقات الصخر المستمرة أصلا. وتشير السهام الصغيرة إلى اتجاهات الحركة، بينما تشير السهام الكبيرة إلى اتجاهات القوة.



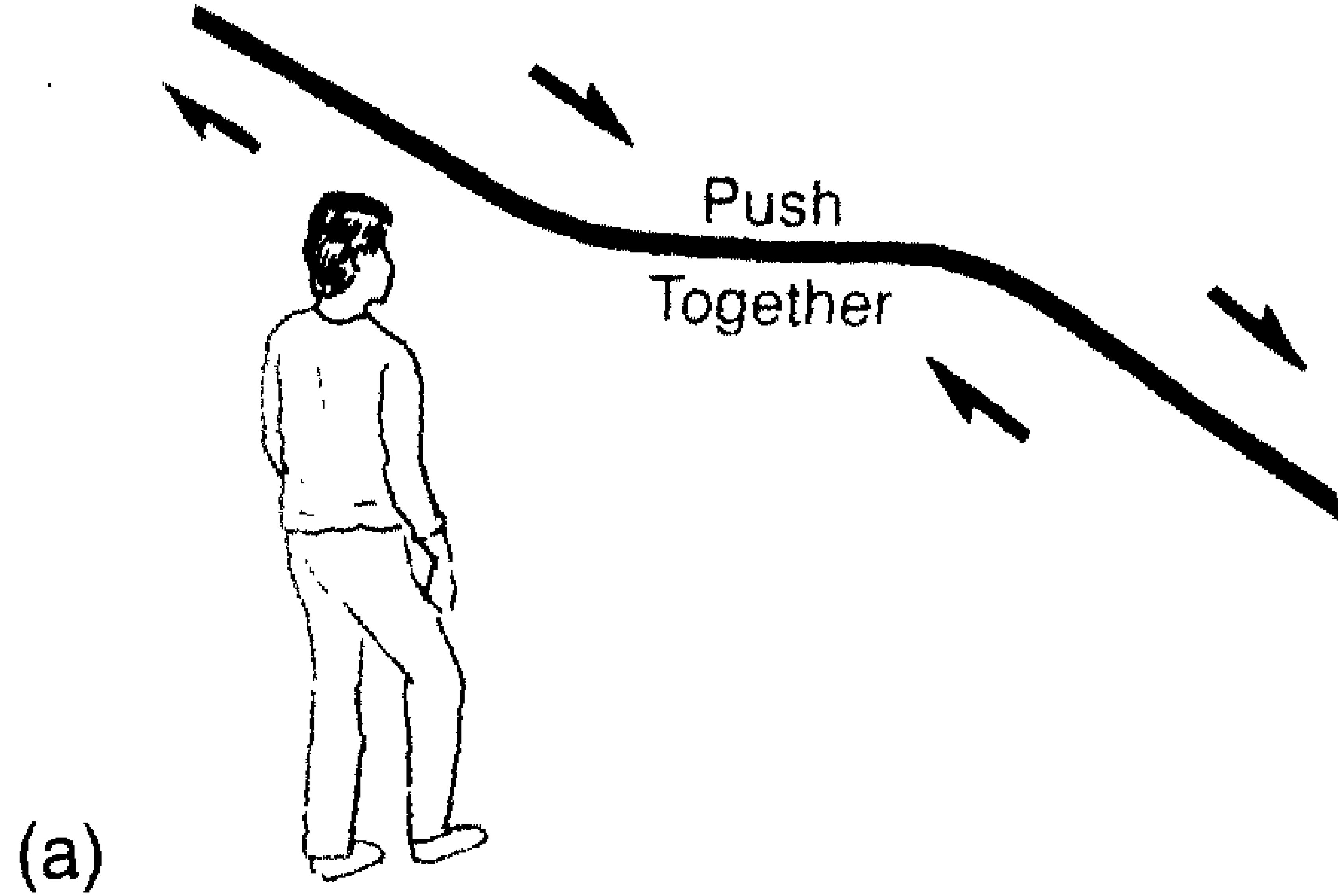
الشكل (٣-١٠) قطاع مقطعى تخطيطى لصدع معكوس، أى أن الحائط العلوى تحرك إلى أعلى (بمفهوم نسبى). وتؤكد منطقة التكرار وجود قوى تضاغطية، حيث انفصلت طبقات الصخر المستمرة أصلا، وتدسرت مع بعضها وتكومت فوق بعضها البعض.



الشكل (٣-١١) خريطة لصدع مضرب منزلق يميني جانبي. وحيث إن الرجل يمتطي الصدع، فإن الجانب الأيمن للصدع تحرك نسبيا مقتربا منه. فإذا استدار، فهل لا يزال جانبه الأيمن يتحرك مقتربا منه؟

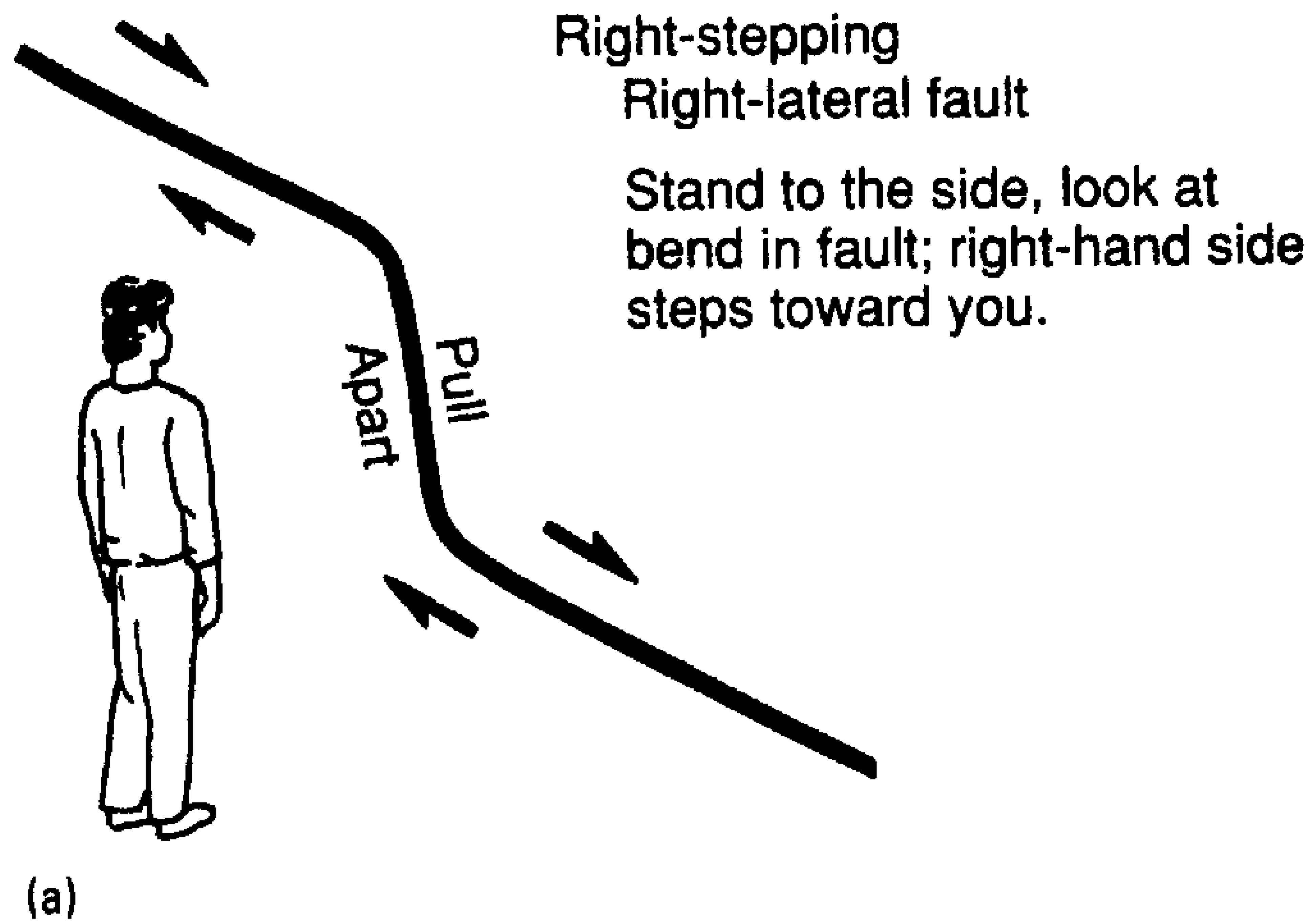


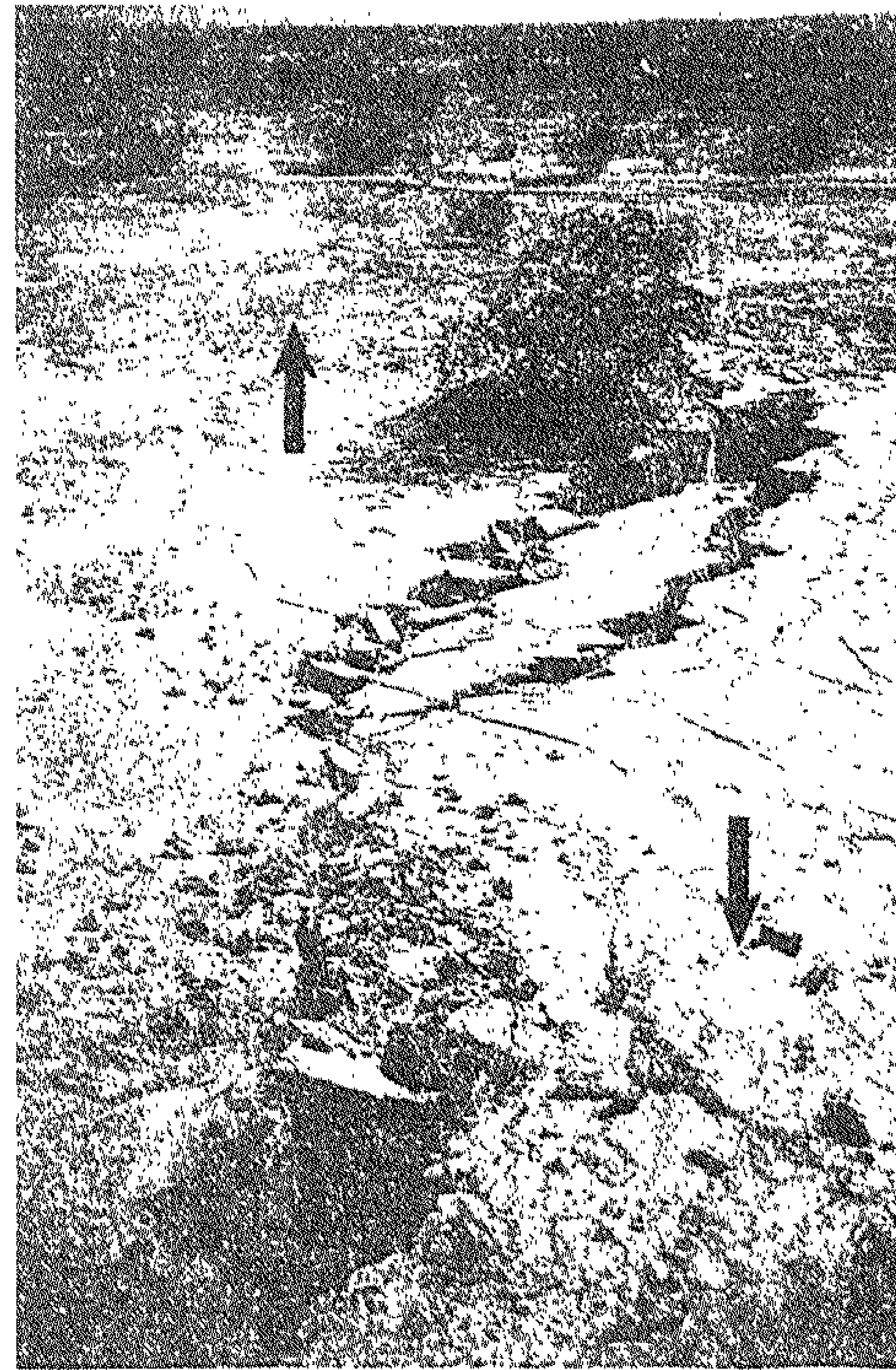
الشكل (٣-١٢) كتلة تخطيطية لسطح صدع. فبؤرة الزلزال هى المكان الذى يبدأ فيه الكسر، والمركز السطحى هو النقطة على سطح الأرض التى تقع فوق البؤرة. لاحظ أن سطح الصدع مائل، ولذلك لم يقع المركز السطحى على أثر الصدع عند السطح.



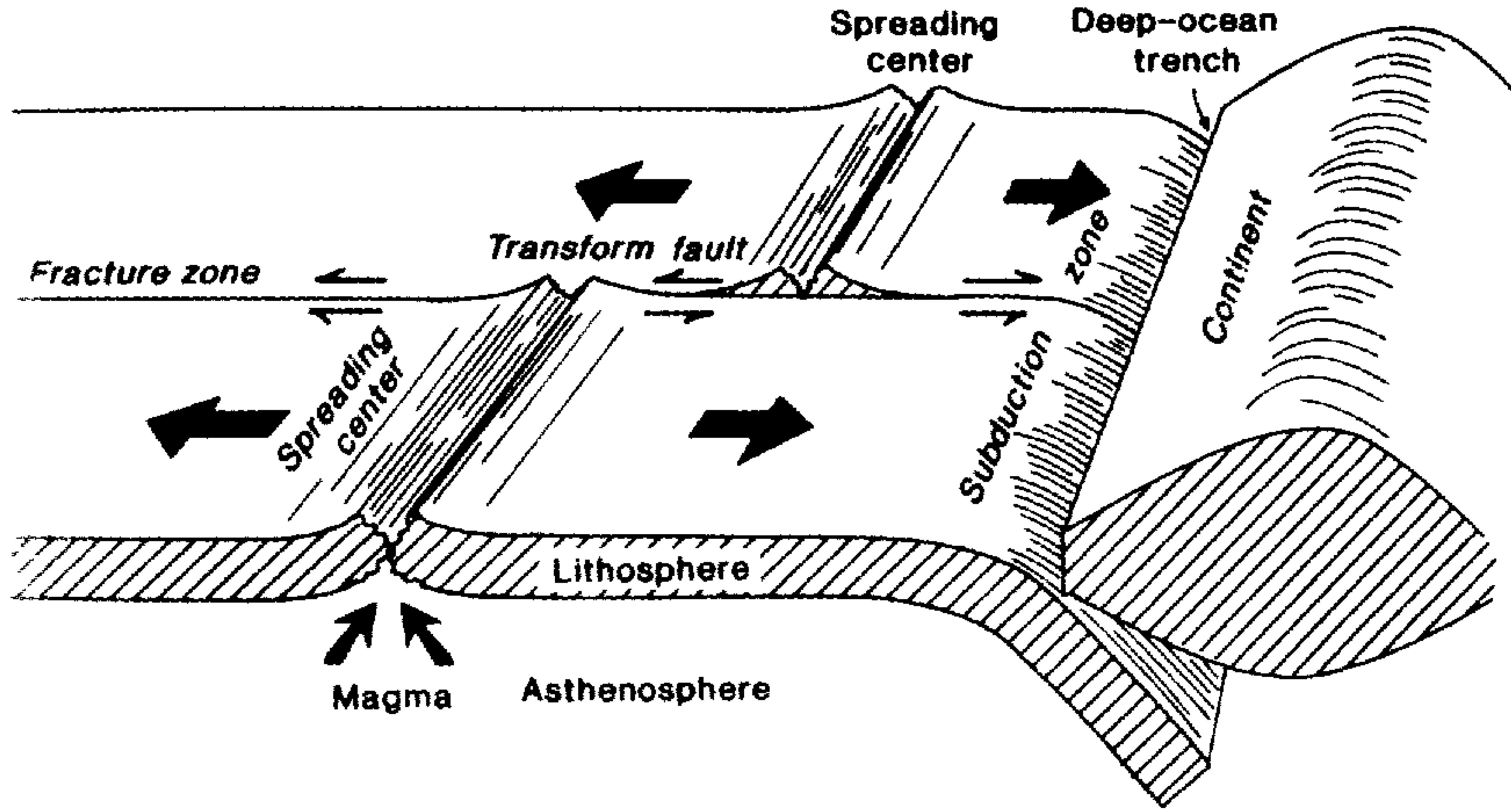


الشكل (٣-١٣) (أ) تدرج يسارى فى صدع يمينى جانبى. لاحظ أن الأرض يضغط على بعضها البعض عند ثنية (التواء) الصدع عندما يتحرك الصدع. وتشكل الحركة تلا يمكن أن ينمو إلى جبل إذا ظل الصدع نشيطا لفترة طويلة. (ب) تفرع الأرض على طول صدع سوبر ستيشان هيللز اليمينى الجانبى، فى زلزال ١٦ نوفمبر ١٩٨٧. انظر إلى التدرج لليسار والارتفاع عند الثنية.

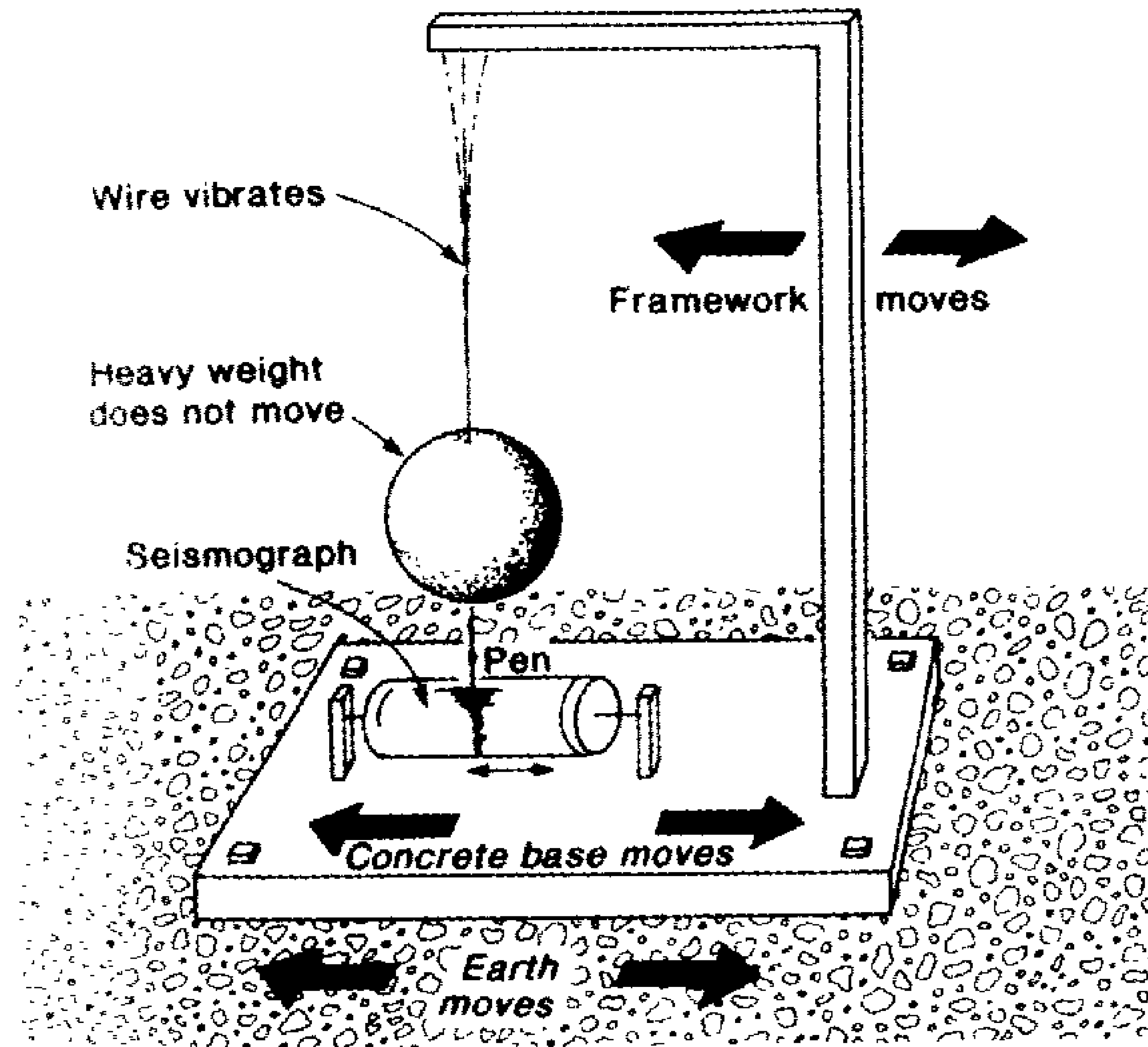




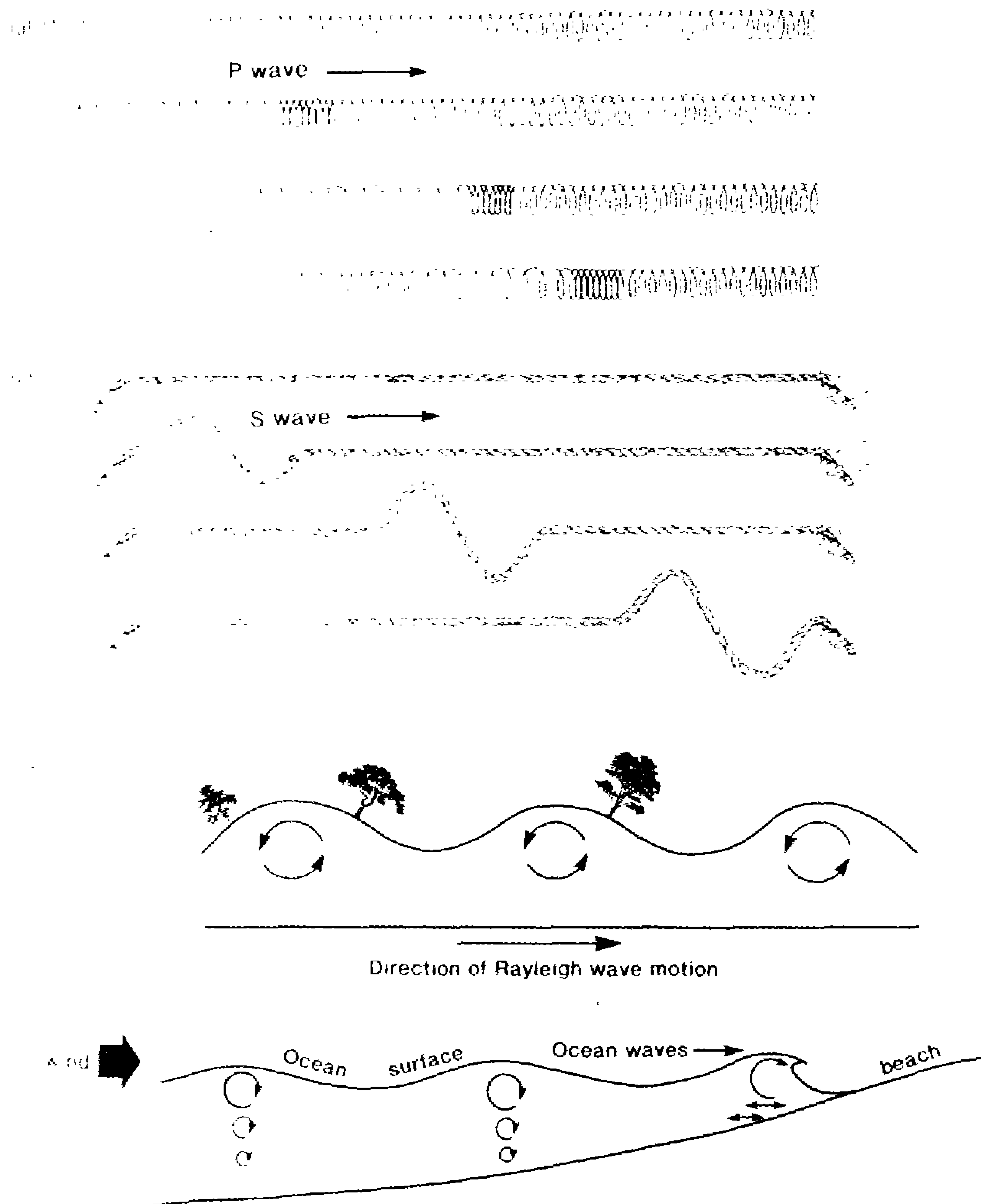
الشكل (٣-١٤) (أ) تدرج يمينى فى صدع يمينى جانبى. لاحظ أن الأرض تتباعد عن بعضها البعض عند ثنية الصدع عندما يتحرك الصدع. وتشكل الحركة ثقبا يمكن أن يصبح حوضا إذا ظل الصدع نشيطا لفترة زمنية جيولوجية. (ب) تفرع الأرض على طول صدع سوبر ستيشان هيللز اليمينى الجانبى، فى تمزق ١٩٨٧. انظر التدرج لليمين والتباعد عند الثنية.



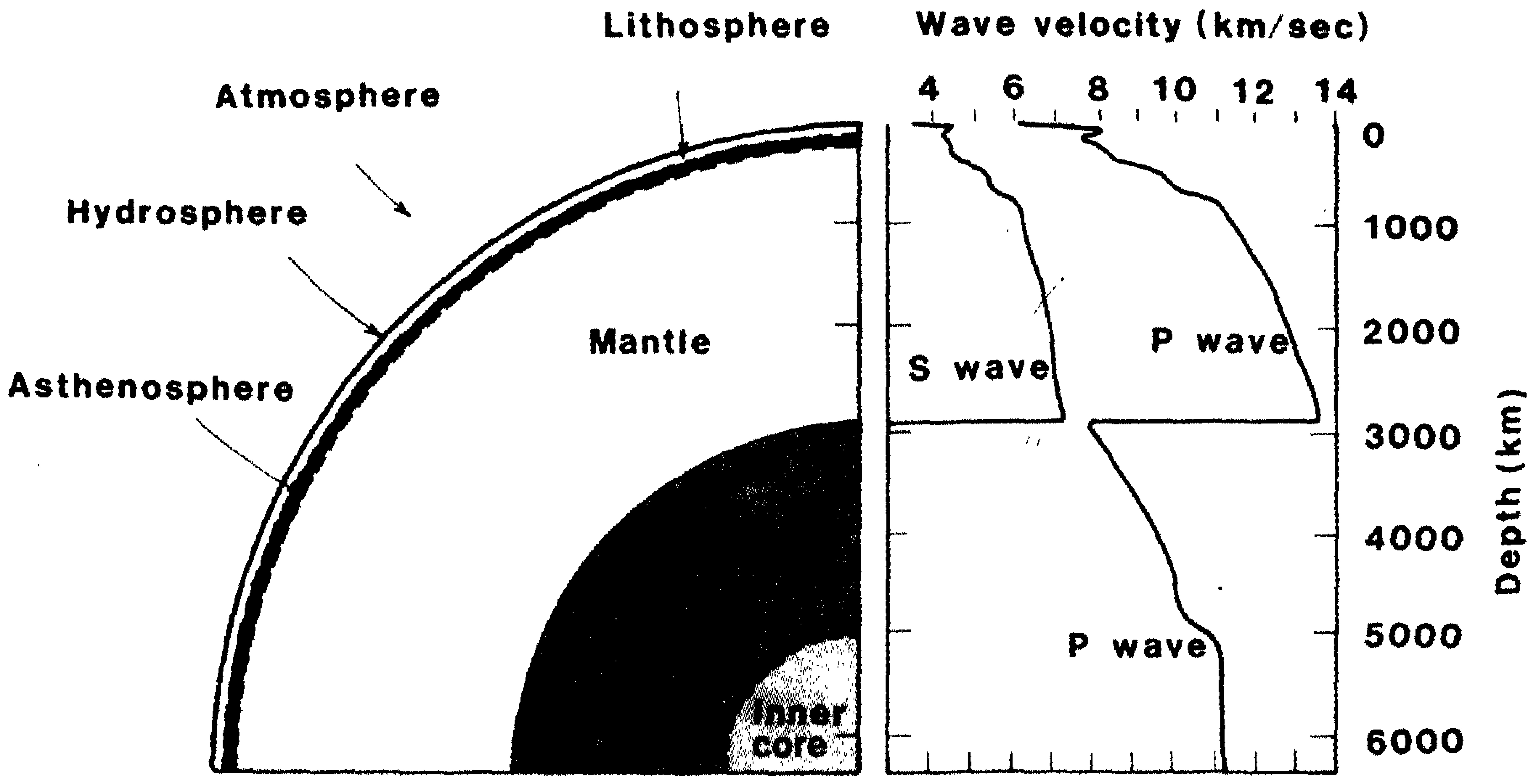
الشكل (٣-١٥) نموذج للصدوع التحويلية فى الألواح التكتونية. لاحظ أن الصدع التحويلى يصل مركزَىْ الانتشار المنفصلين؛ وأن قاع البحر هنا يتحرك فى اتجاهين متعاكسين. وبعد مراكز الانتشار يتحرك اللوحان فى نفس الاتجاه وينفصلان فى منطقة الكسر؛ حيث لا توجد صدوع تحويلية هنا.



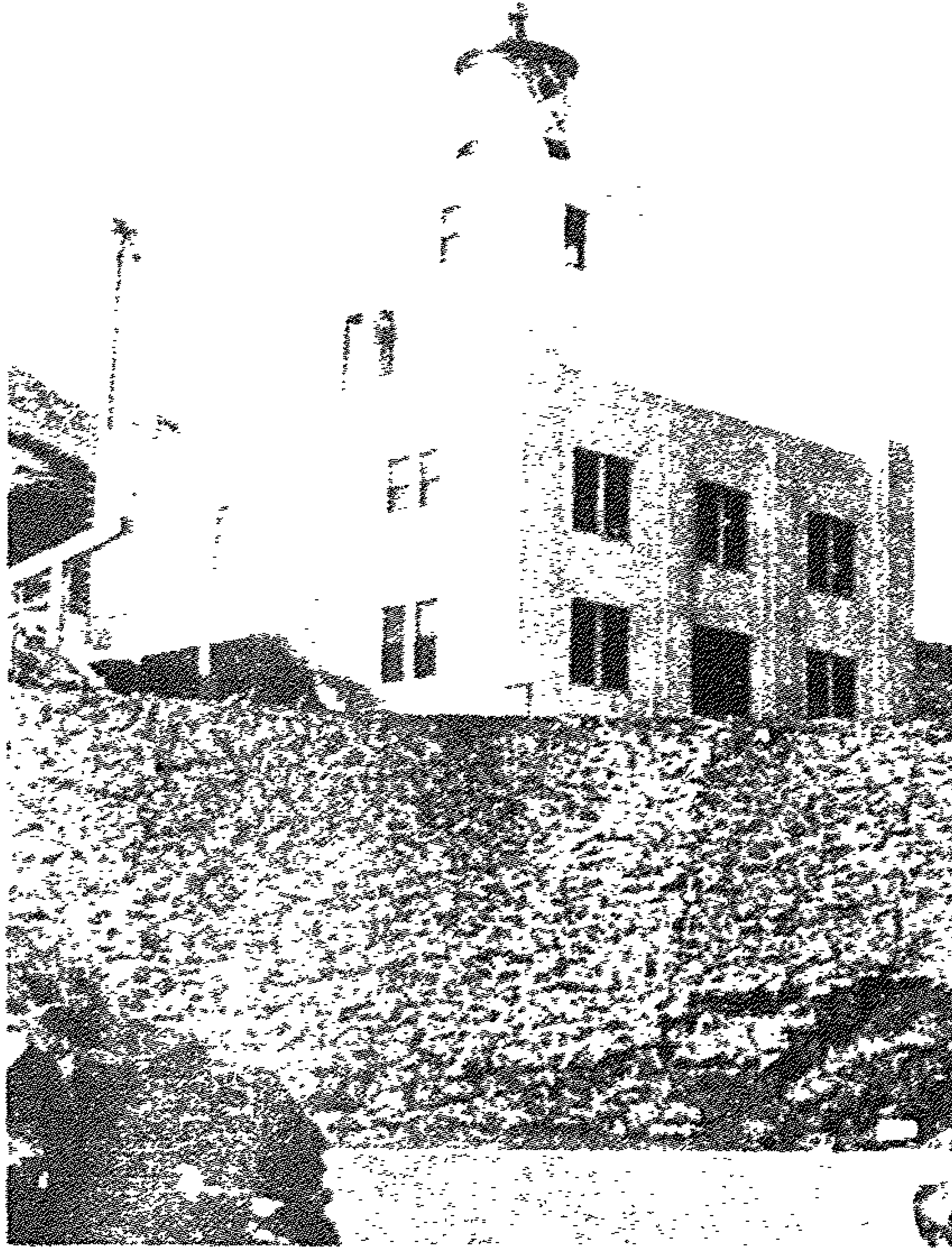
الشكل (٣-١٦) مسجِّل زلازل مبسط. تتحرك الأرض، ويتحرك إطار السجل، ويتذبذب سلك التعليق، ولكن الكتلة الثقيلة المعلقة والقلم المثبت تحتها يظلا ثابتين نسبيا. والشىء المثالى أن يظل القلم ثابتا بينما تتحرك الأرض تحته ليرسم خطًا بالحبر.



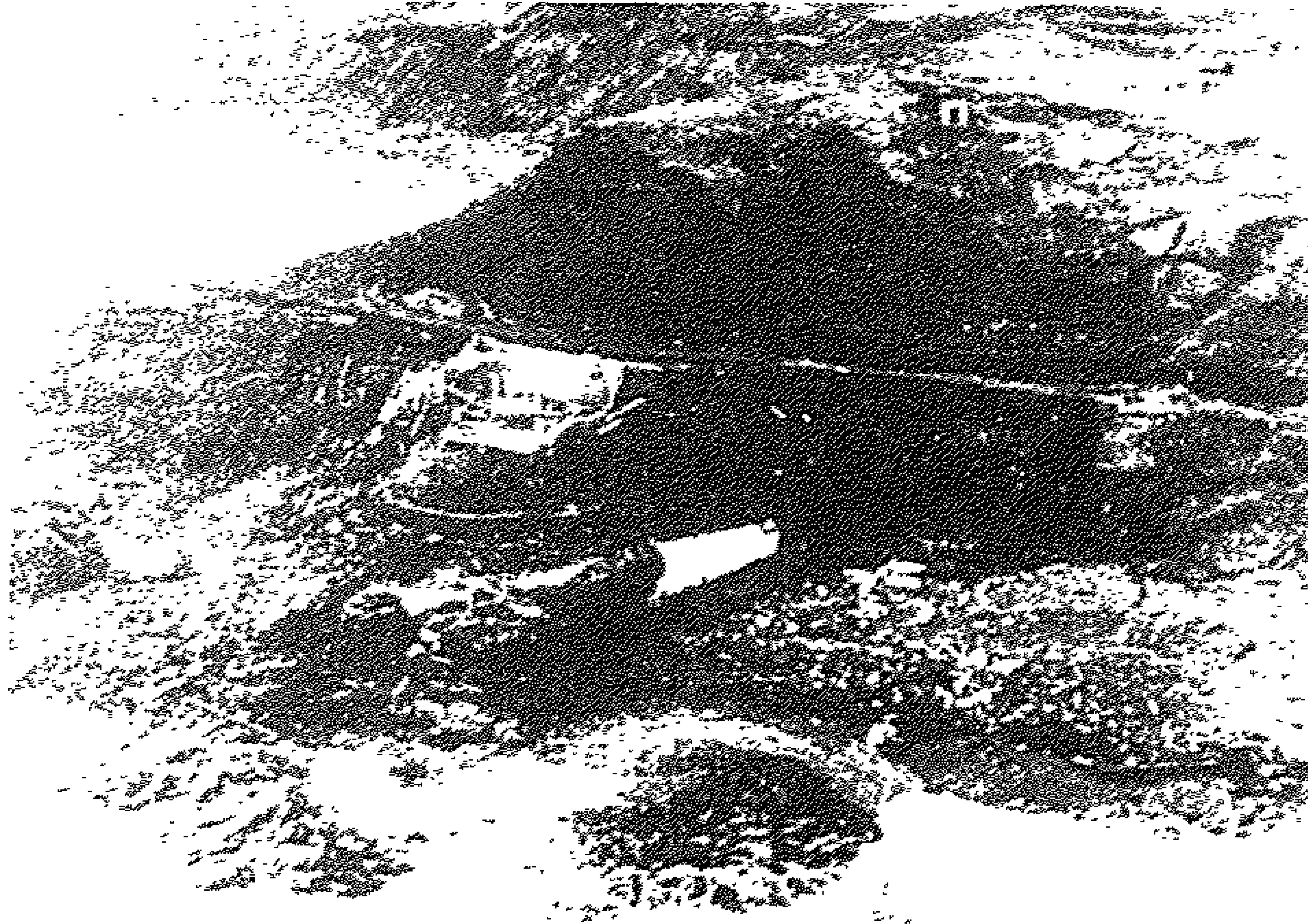
الشكل (٣-١٧) نماذج للموجات الزلزالية. (أ) تتحرك الموجات الابتدائية فى حركة ضغط – سحب مثل لعبة اليويو. (ب) تتحرك الموجات الثانوية إلى أعلى وإلى أسفل حركة عمودية على اتجاه التقدم، مثـل حبـل القفـز. (جـ) تتقـدم موجــات رايلى فى حــركة دوران تراجعــى بعكس (د) موجات المحيط التى تدفعها الريح التى تؤدى إلى حركة دوران أمامى.



الشكل (٣-١٨) يساعد اختلاف سرعة الموجات الابتدائية عن الموجات الثانوية فى تحديد البناء الداخلى للأرض.



(a)

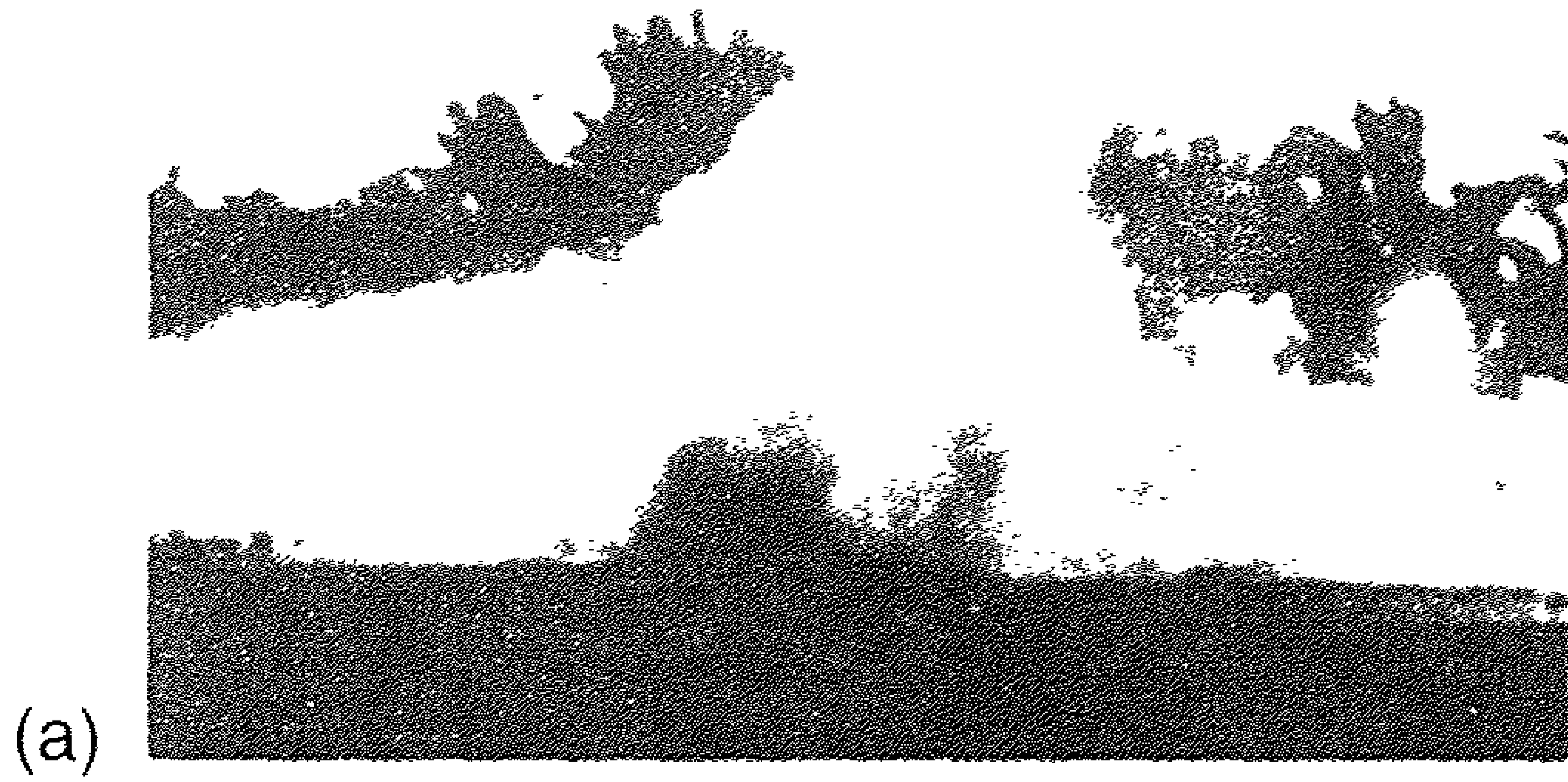


(b)

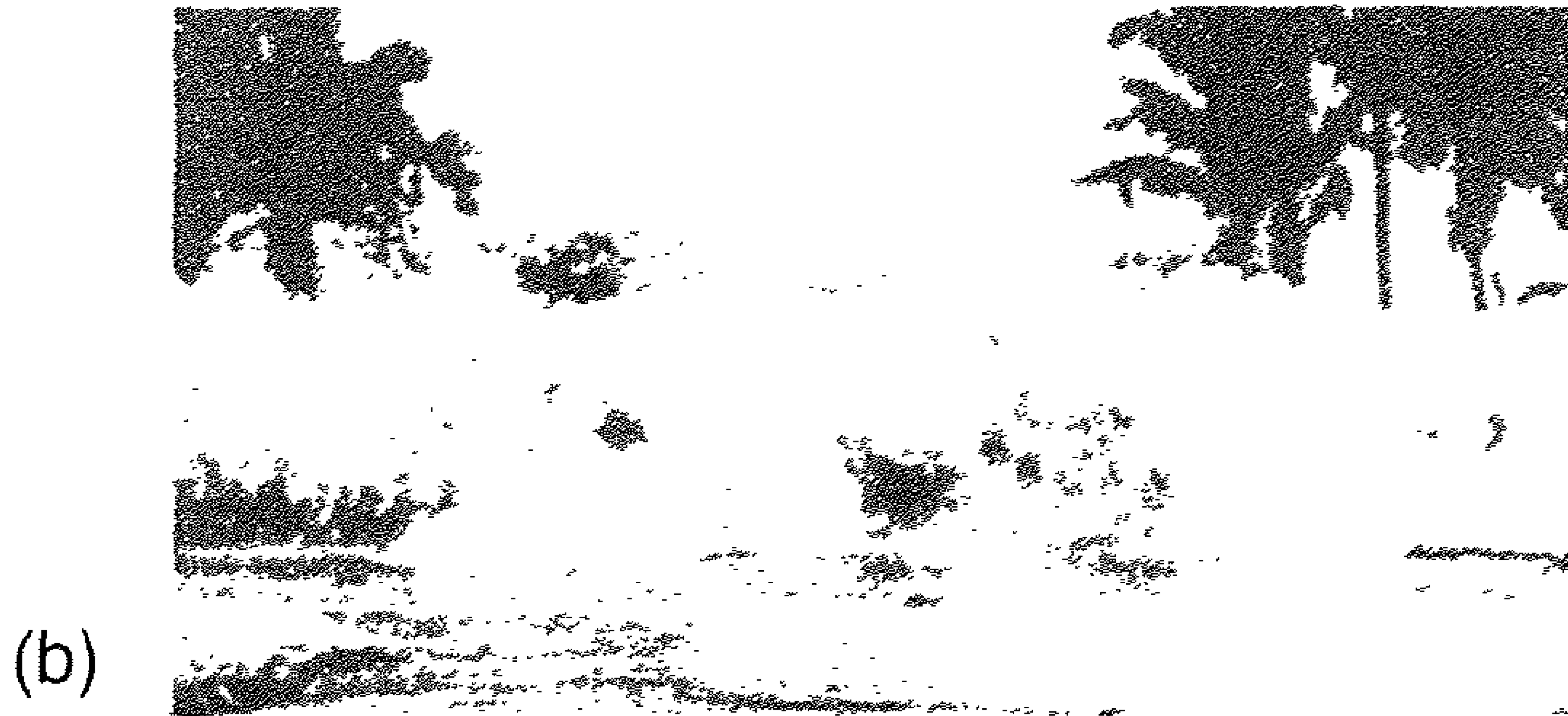
الشكل (٣-١٩) فنارة الفجوة الإسكتلندية فى جزر آليوشان فى آلاسكا (أ) قبل و(ب) بعد حدوث الموجات السنامية التى أطلقها زلزال ١ أبريل ١٩٤٦ بقوة ٧,٣ .



الشكل (٣-٢٠) الموجات السنامية وقد حطمت بيرا فى هيلو بهاواى فى ١ أبريل ١٩٤٦. قُتِلَ الرجل الذى تشاهده فى مقدمة الصورة، ضمن ١٥٩ قتيلا.

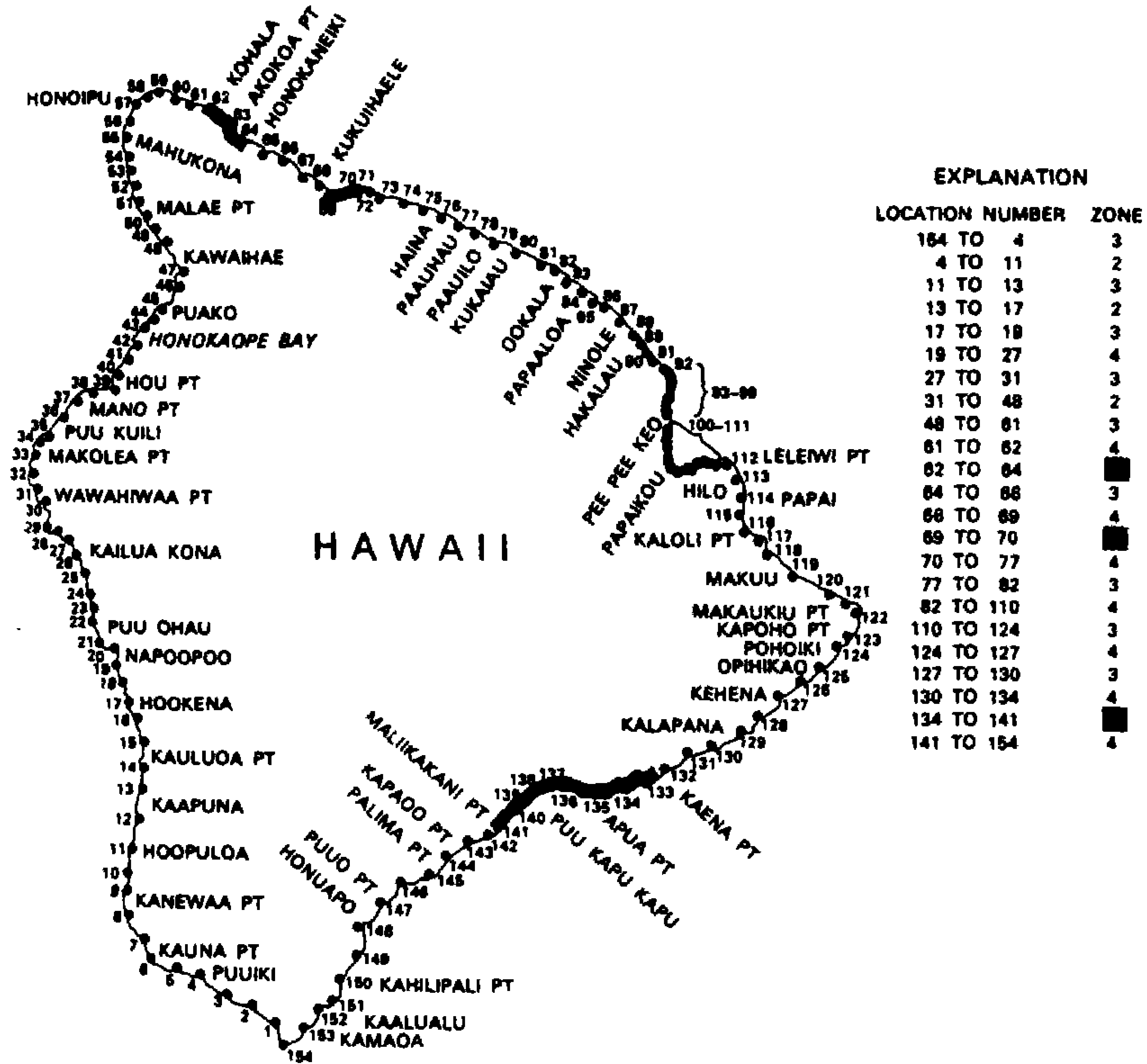


(a)

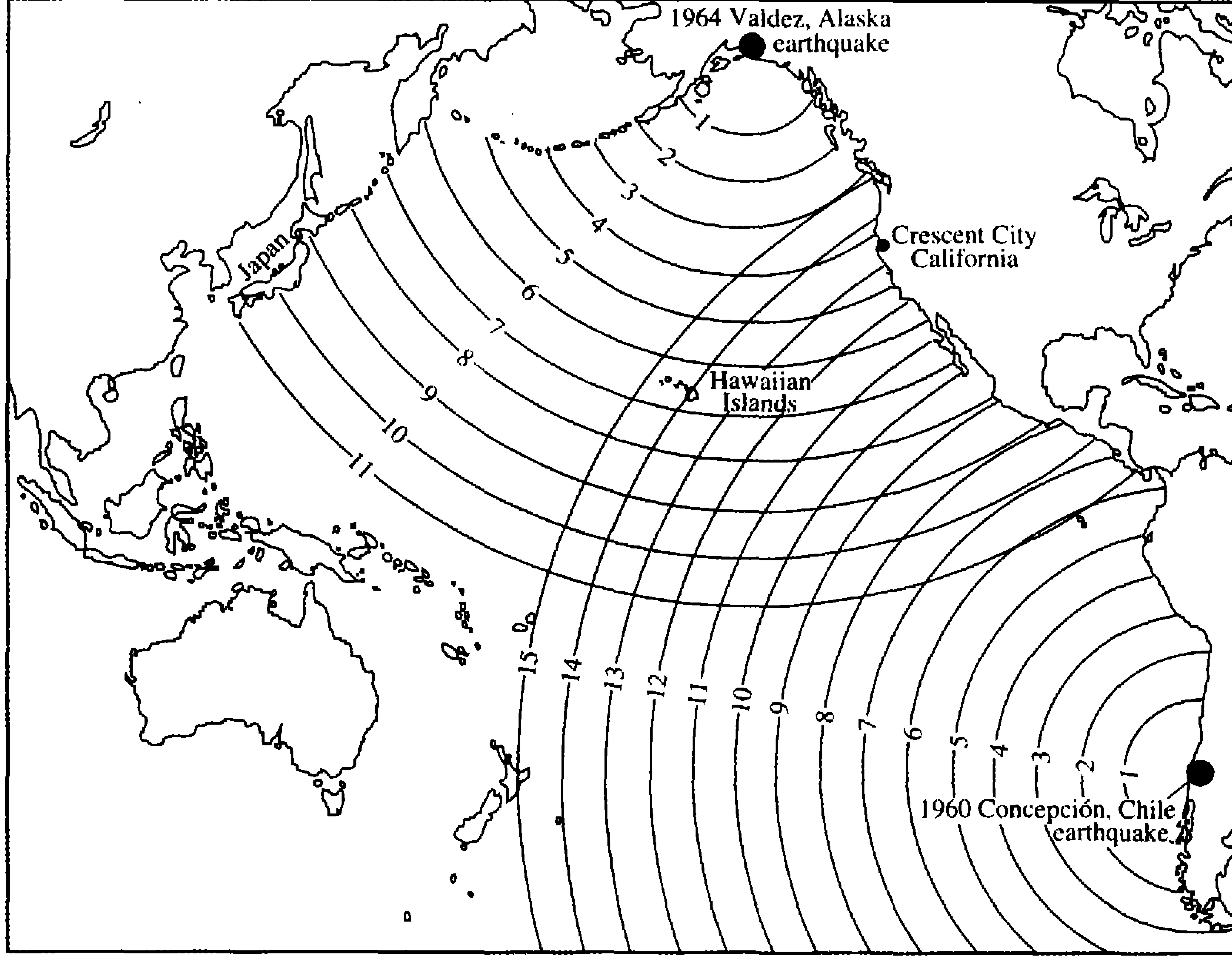


(b)

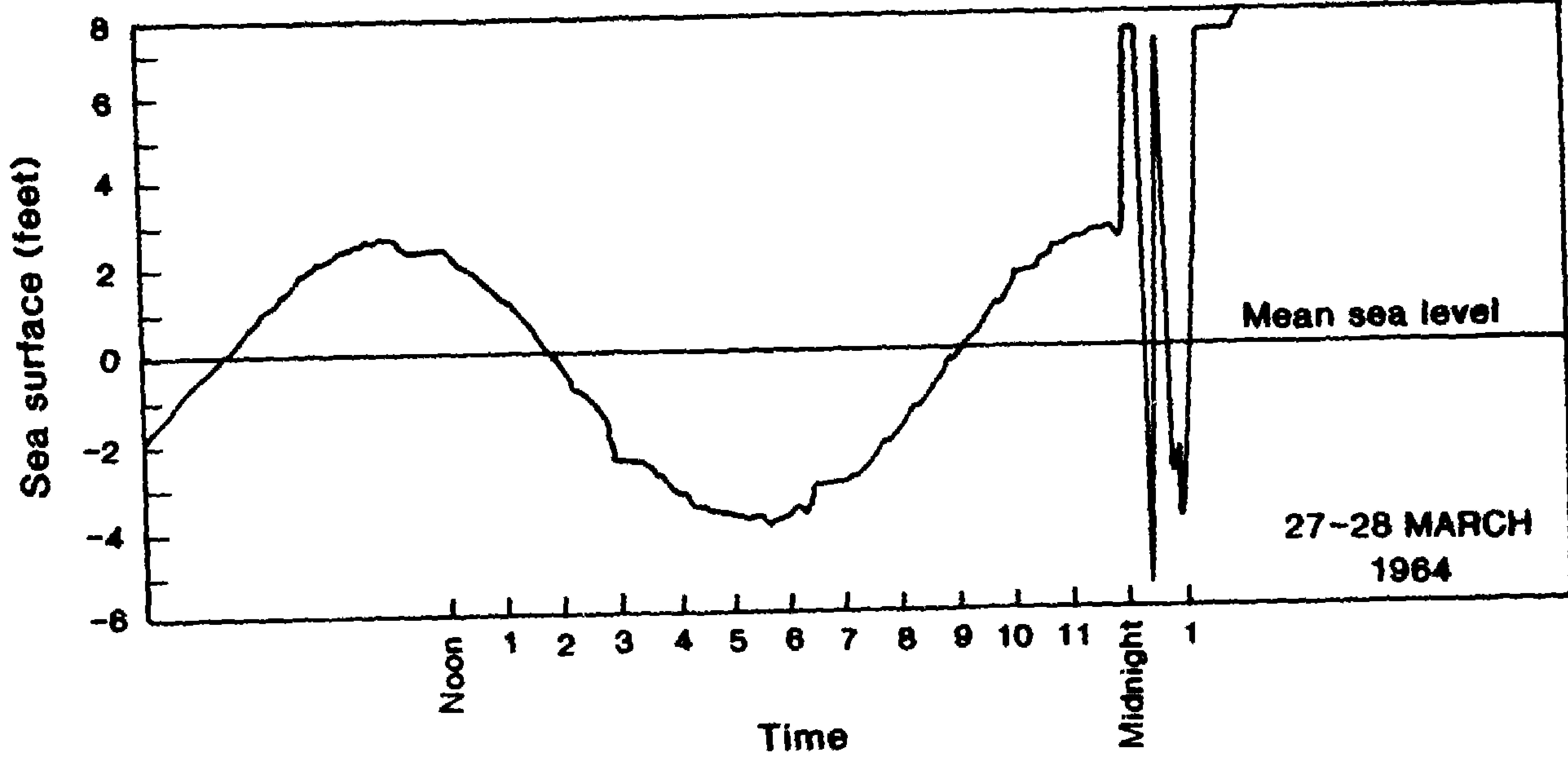
الشكل (٣-٢١) الموجات السنامية تندفع إلى الشاطئ شرقى هيلو فى هاواى فى ١ أبريل ١٩٤٦.



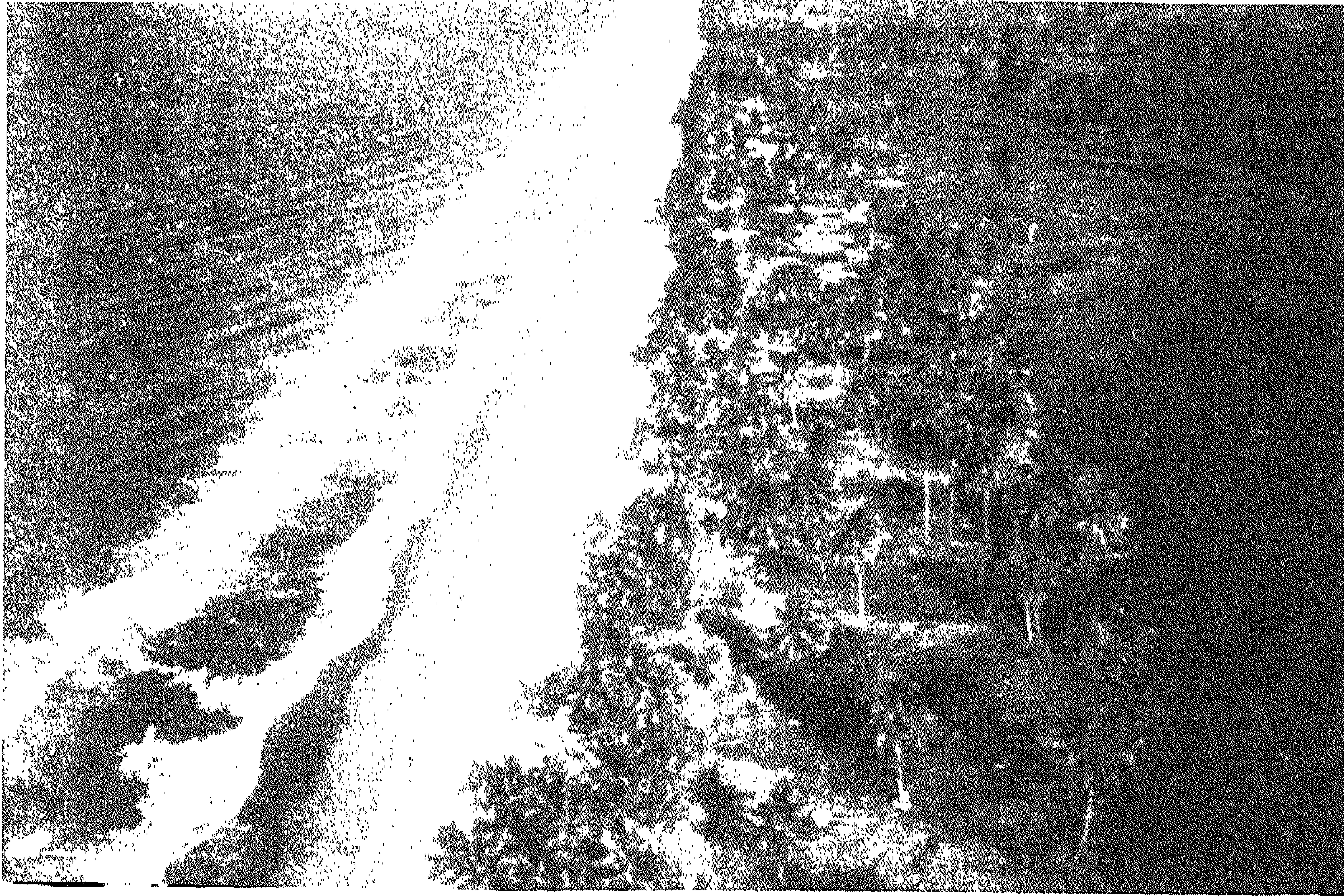
الشكل (٣-٢٢) خريطة لمخاطر الموجات السنامية في جزيرة هاواي. فمناطق السواحل المظللة بالأسود (المنطقة الخامسة) تستقبل موجات سنامية أعلى من ١٥ مترا (٥٠ قدما). وربما كانت المنطقة الرابعة تستقبل موجات سنامية أعلى من ٩ أمتار (٣٠ قدما)، والمنطقة ٣ موجاتها السنامية أعلى من ٤,٥ أمتار (١٥ قدما) والمنطقة ٢ موجاتها السنامية أعلى من ١,٥ مترا (٥ أقدام).



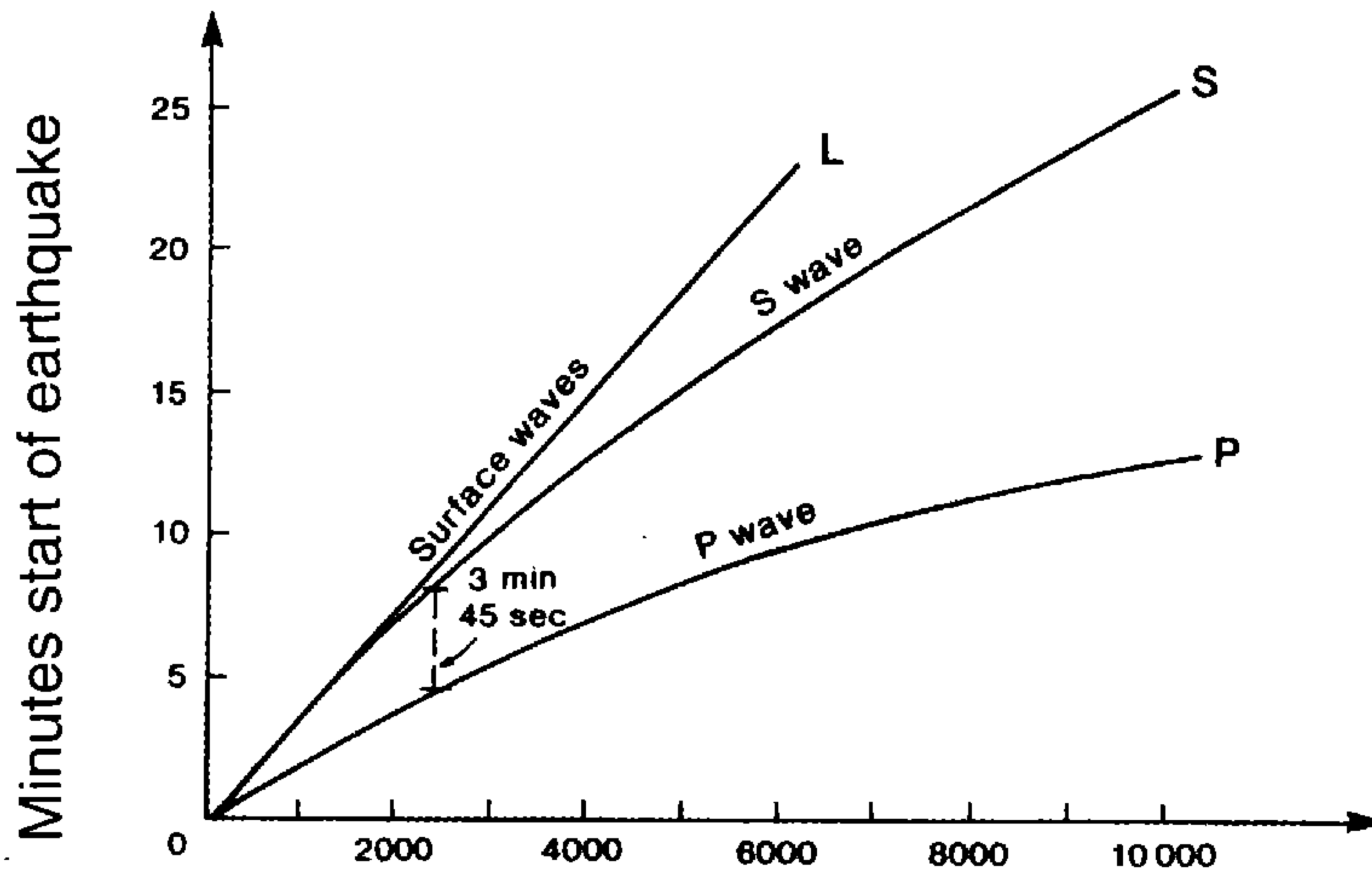
الشكل (٣-٢٣) زمن مرور الموجات السنامية إلى هاواى بالساعات.



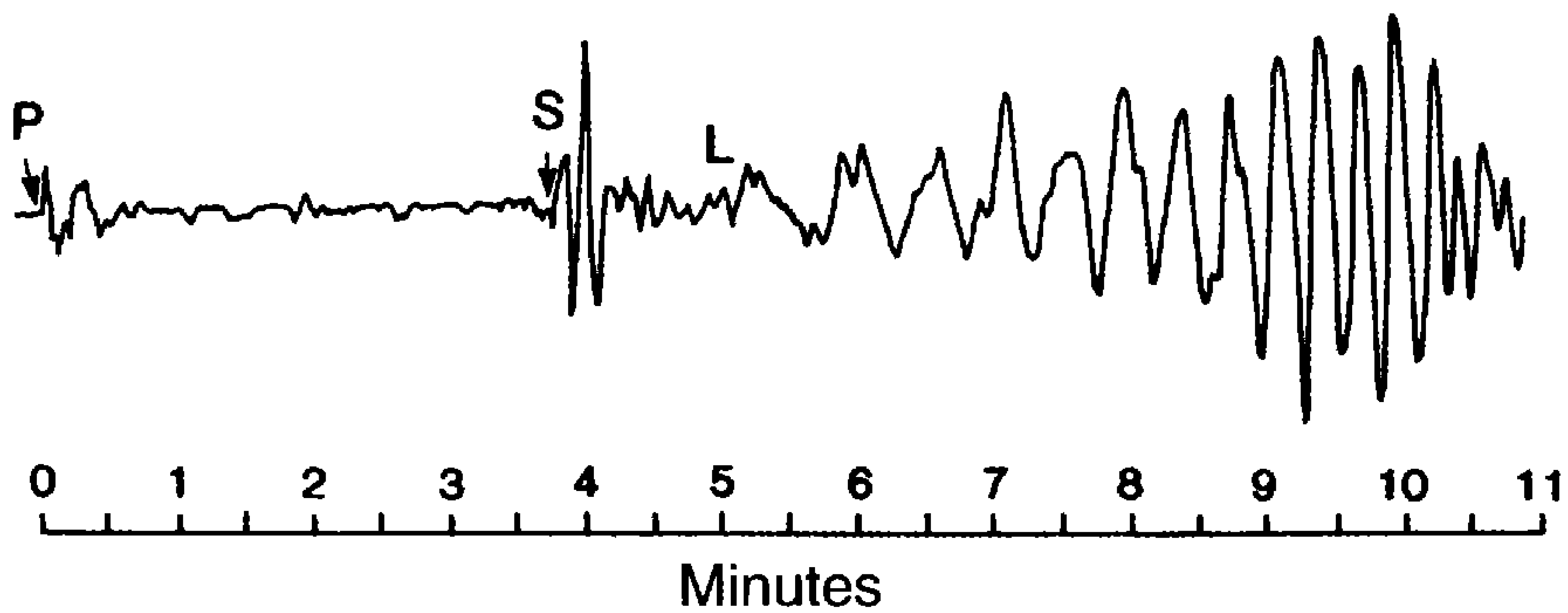
الشكل (٣-٢٤) سجل مقياس المد عند كريسنت سيتي في كاليفورنيا، في جزء من ٢٧ - ٢٨ مارس ١٩٦٤. فالمد السنامي والجزر السنامي مؤكدان.



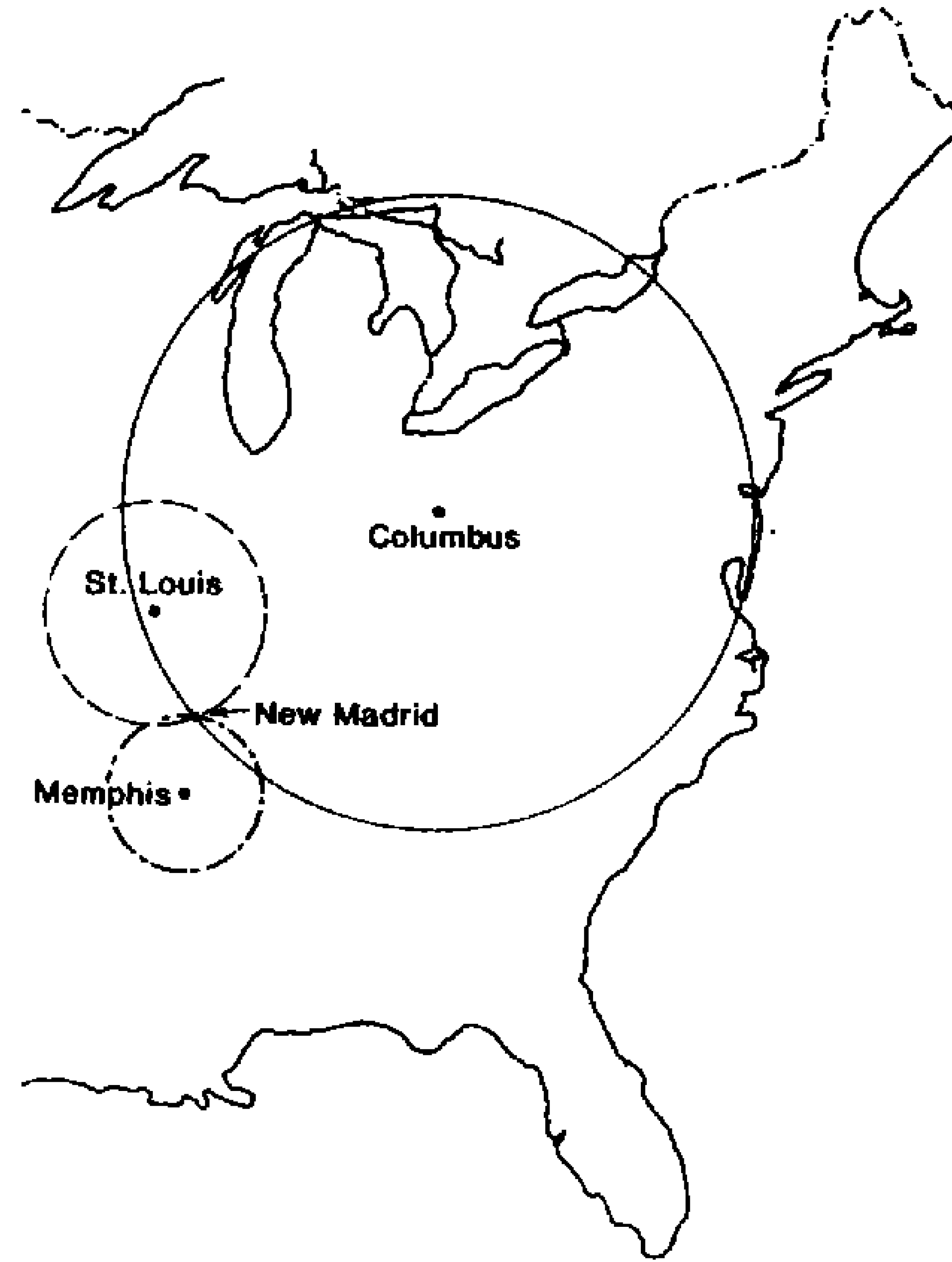
الشكل (٣-٢٥) القرى التى اجتاحتها الموجات السنامية من الحاجز الرملى إلى بحيرة سيسانو وغرق فيها ٢٢٠٠ نسمة فى يوم ١٧ يوليو ١٩٩٨. فهل هذا الحاجز الرملى يذكرك بساحل نيوجيرسى فى شمالى كارولاينا أو بجزيرة بولبوا فى جنوبى كاليفورنيا أو بمواقع أخرى؟



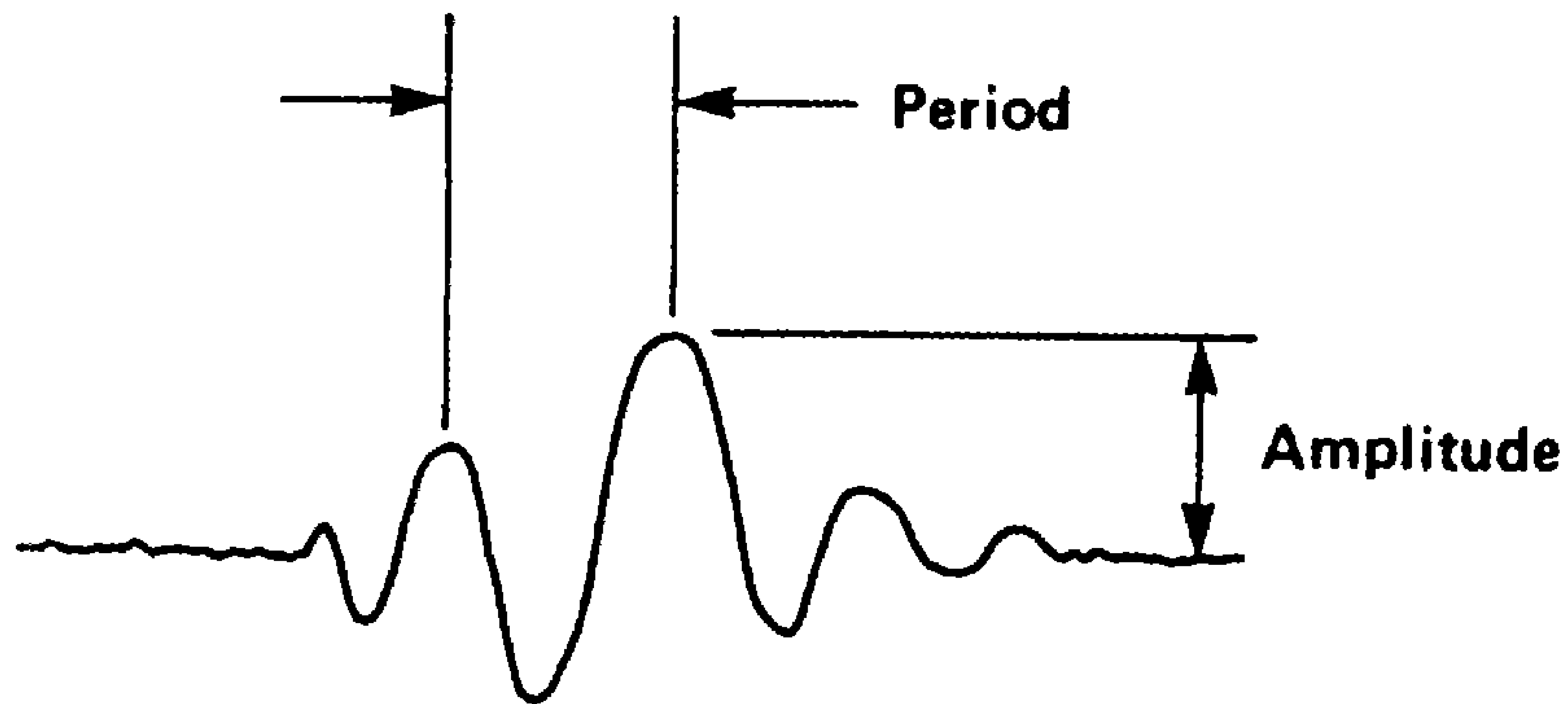
الشكل (٣-٢٦) توقيع زمن مرور الموجات الزلزالية مقابل المسافة. لاحظ أن اختلاف زمن وصول الموجات الابتدائية والموجات الثانوية وهو ٣ دقائق و٤٥ ثانية فى الشكل (٣-٢٧) يماثل المسافة ٢.٢٥٠ كم تقريبا.



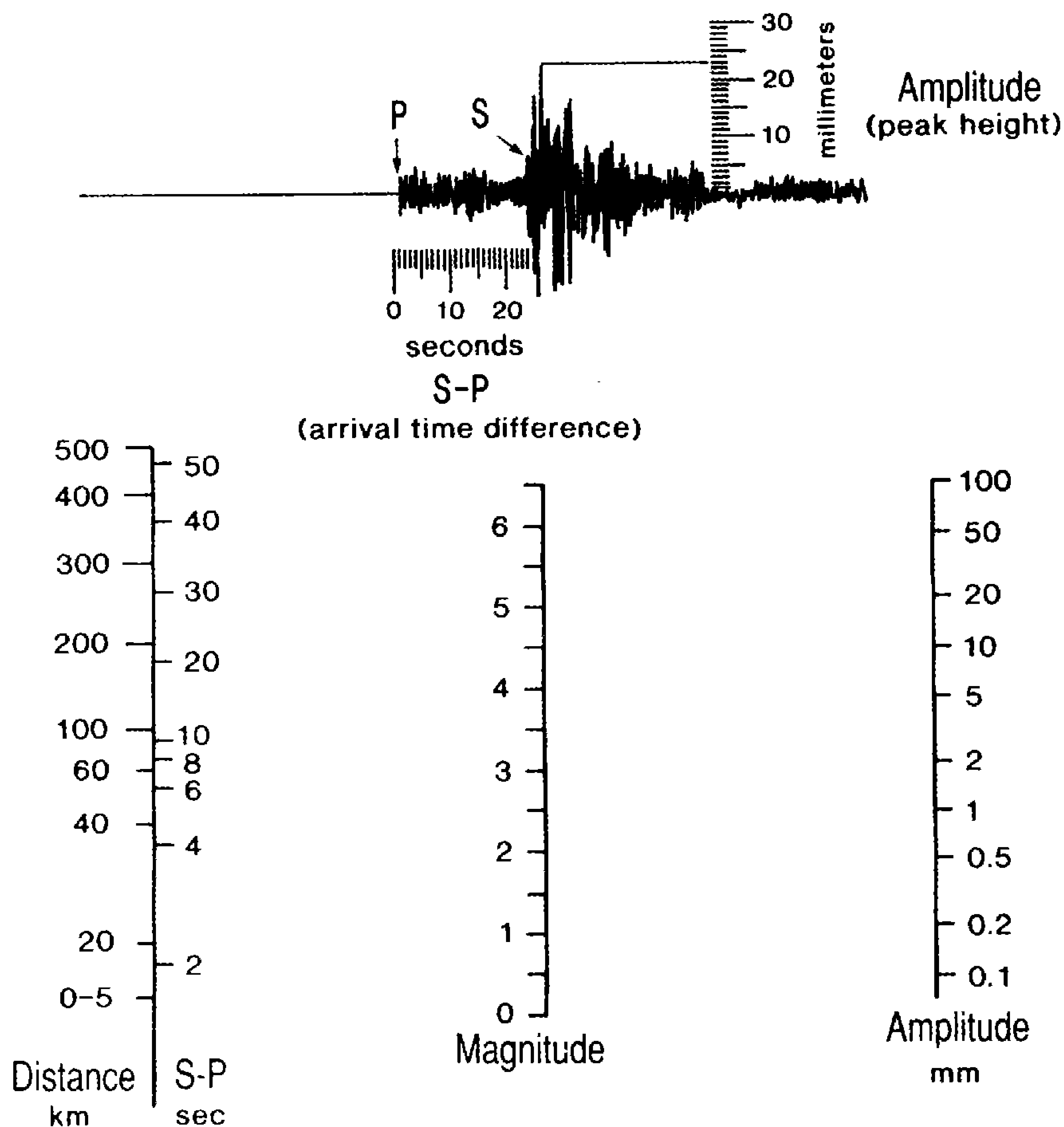
الشكل (٣-٢٧) الرسم الزلزالى الذى سجلته روسيا فى عام ١٩٠٩ لزلزال آسيا الصغرى. ولاحظ أن الفرق فى وصول الموجات الابتدائية والموجات الثانوية (ث-أ) هو ٣ دقائق و٤٥ ثانية.



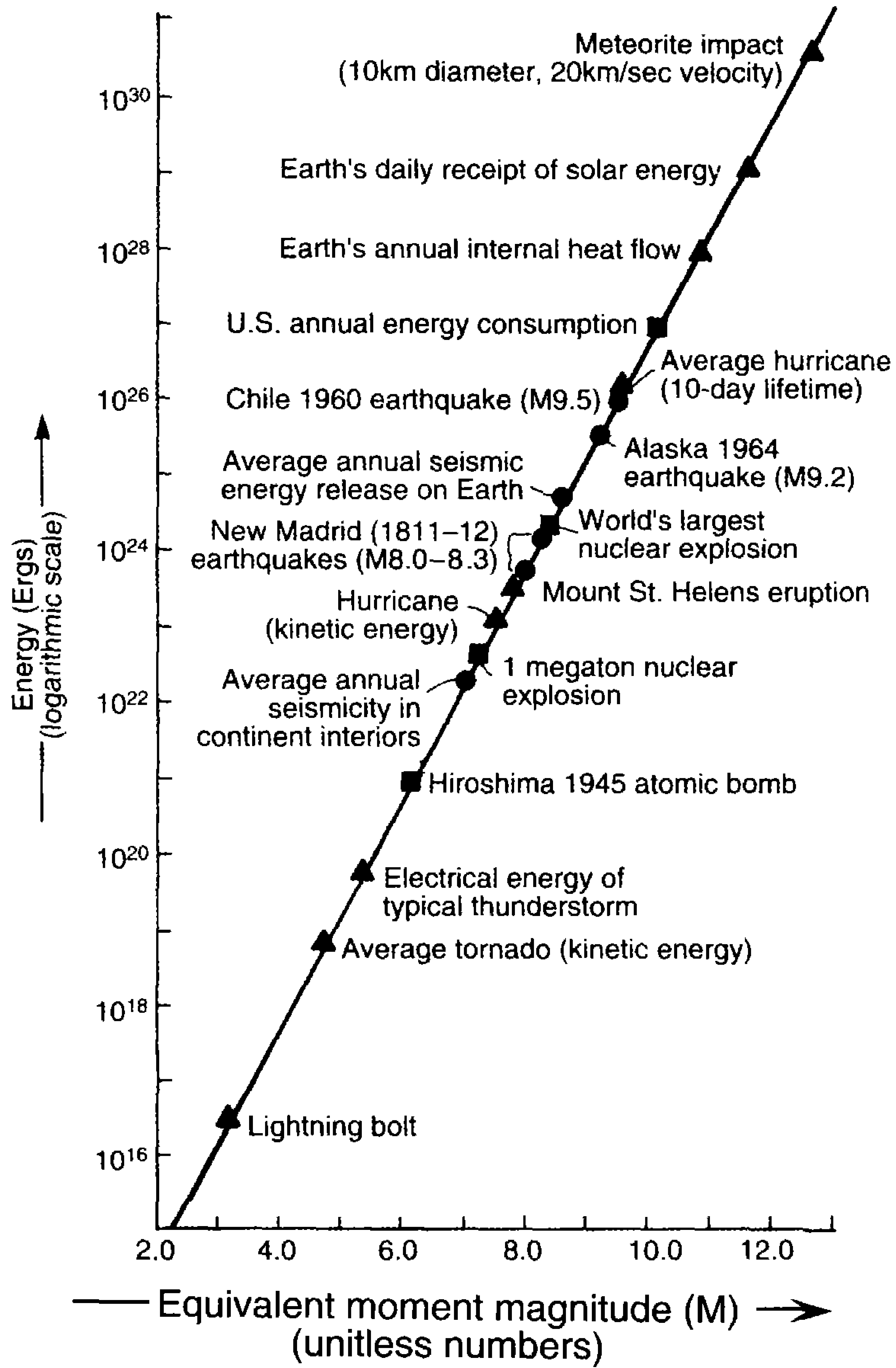
الشكل (٣-٢٨) تحديد موقع المركز السطحى لزلزال. وتعطينا حسابات الفرق بين زمن وصول الموجات الابتدائية والموجات الثانوية (ث-أ) دائرة نصف قطرها ١٦٤ كم من ممفيس و٢٣٦ كم من سان لويس و٦٦٤ كم من كولومباس. وتتقاطع الدوائر بهذه المقادير فى نقطة فريدة عند مدريد فى ميسورى - هى المركز السطحى.



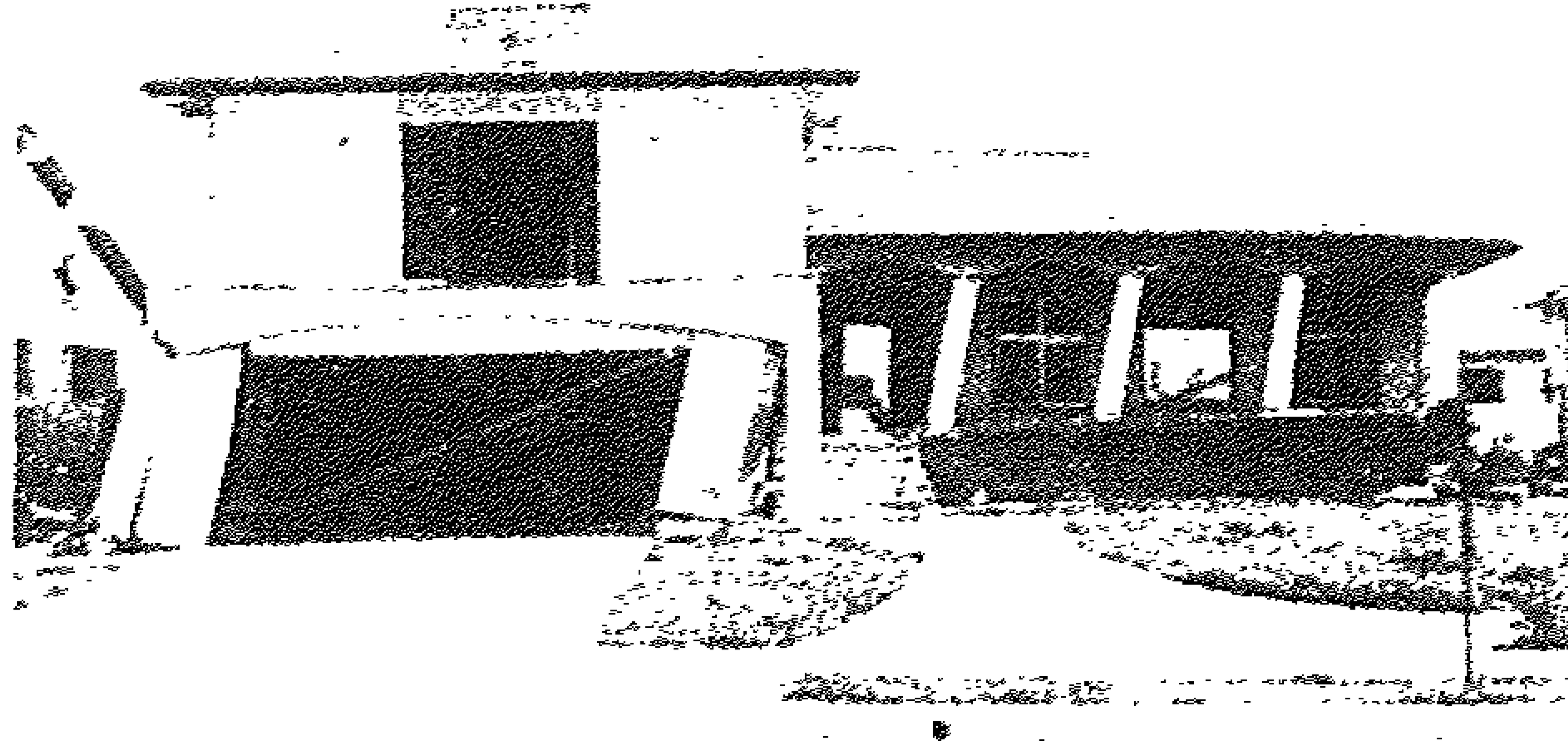
الشكل (٣-٢٩) أثر الموجة الزلزالية. والمدى (الفترة الزمنية) هو زمن مرور دورة موجة واحدة فى الثانية. والسعة هى ارتفاع الأثر (الخط) المحبر أعلى نقطة البدء.



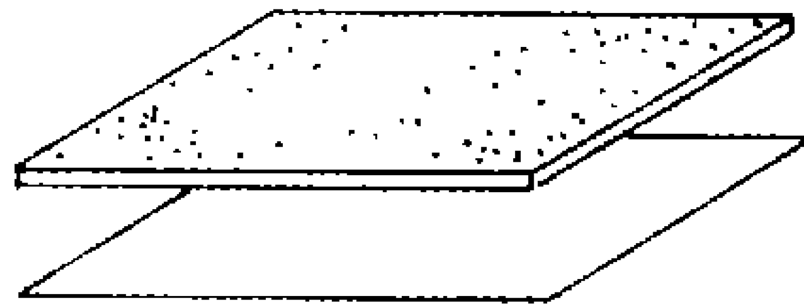
الشكل (٣-٣٠) مخطط بيانى على مقياس ريختر لتقدير قوة الزلازل. اقرأ الفرق بين زمن وصول الموجات الابتدائية والموجات الثانوية على الرسم الزلزالى ثم وقِّع قيمته على العامود الأيسر من المخطط البيانى. ثم اقرأ سعة ارتفاع القمة للموجة الثانوية ووقِّع قيمتها على العامود الأيمن. ارسم خطا بين القيمتين المعلمتين ليمر بالعامود الأوسط الذى يوضح قوة الزلازل.

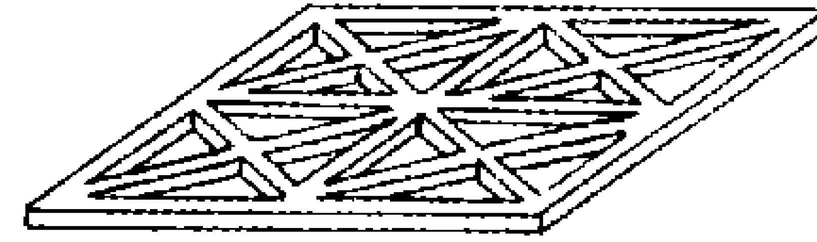


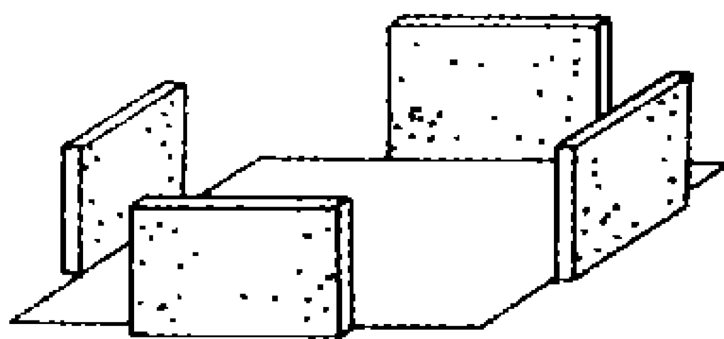
الشكل (٣-٢١) مكافئ عزم القوة لمختلف الزلازل (النقط المستديرة) ومن صنع الإنسان (النقط المربعة) وظواهر أخرى (النقط المثلثة).

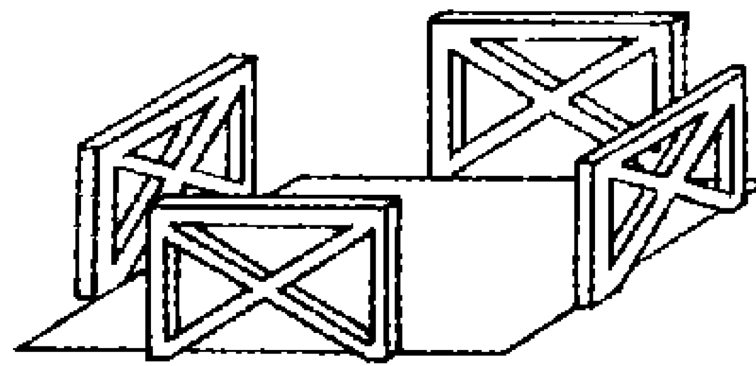


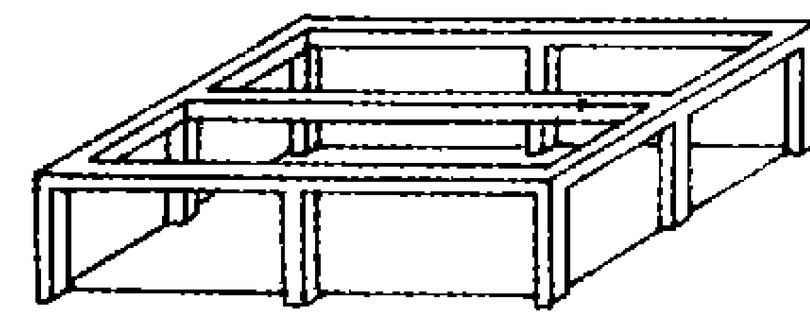
الشكل (٣-٣٢) انهيار منزل غير مدعم بالقدر الكافى نظرا للتسارع الأفقى أثناء زلزال سان فيرناندو فى ١٩٧١.



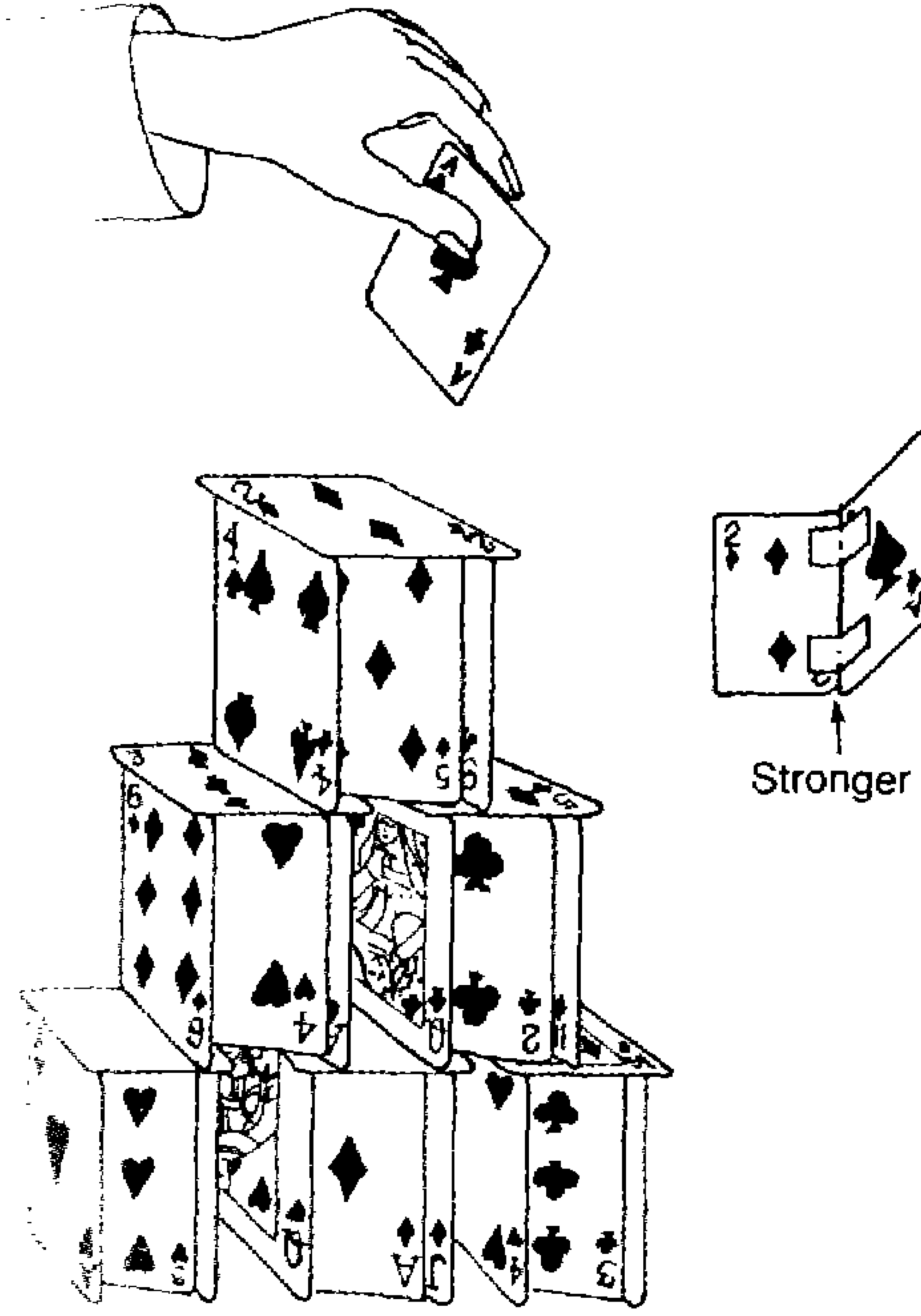








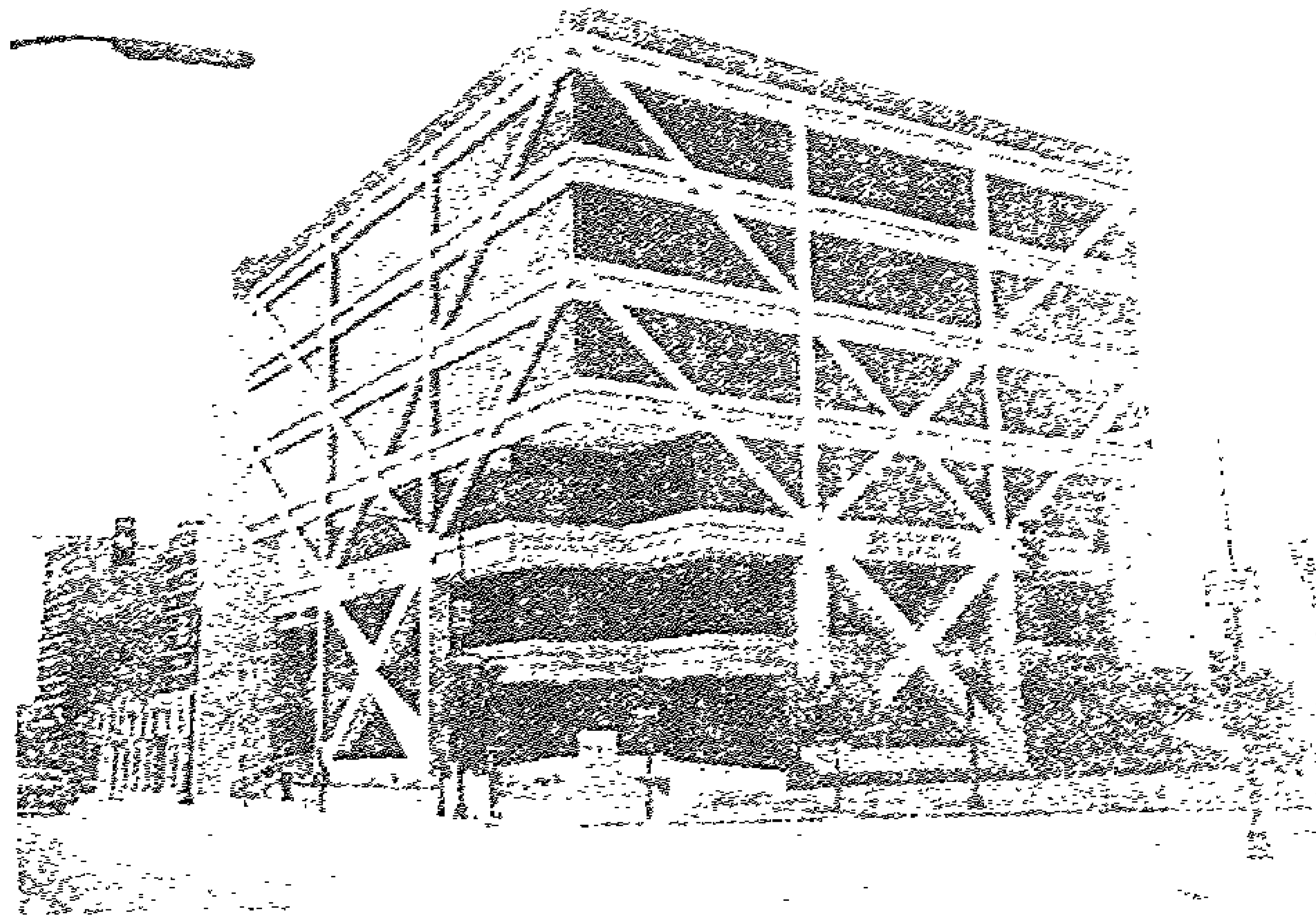
الشكل (٣-٣٣) مكونات المبنى المقاومة للزلازل.



الشكل (٣-٣٤) «منزل من أوراق اللعب» على شكل بناء من حوائط الحمل. وتزيد كثيرا مقاومة البناء للزلازل عند ربط الحوائط بعضها ببعض.



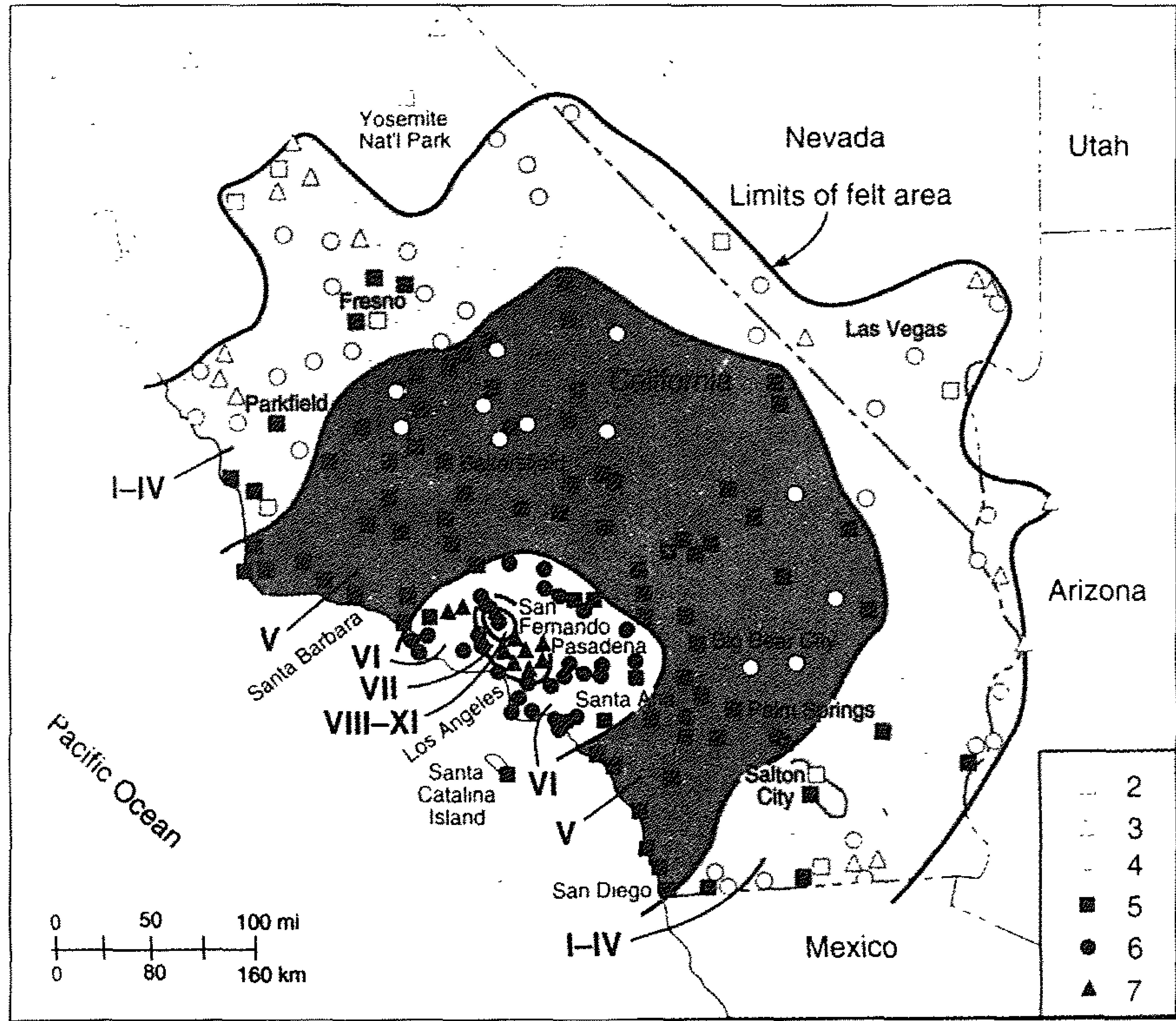
الشكل (٣-٣٥) انهار بناء لمواقف السيارات فى جامعة ولاية كاليفورنيا فى نورثريدج أثناء زلزال ١٧ يناير ١٩٩٤. وكان البناء مبنيا ليسع ٢,٥٠٠ سيارة فى عام ١٩٩١ وتكلف ١١,٥ مليون دولار.



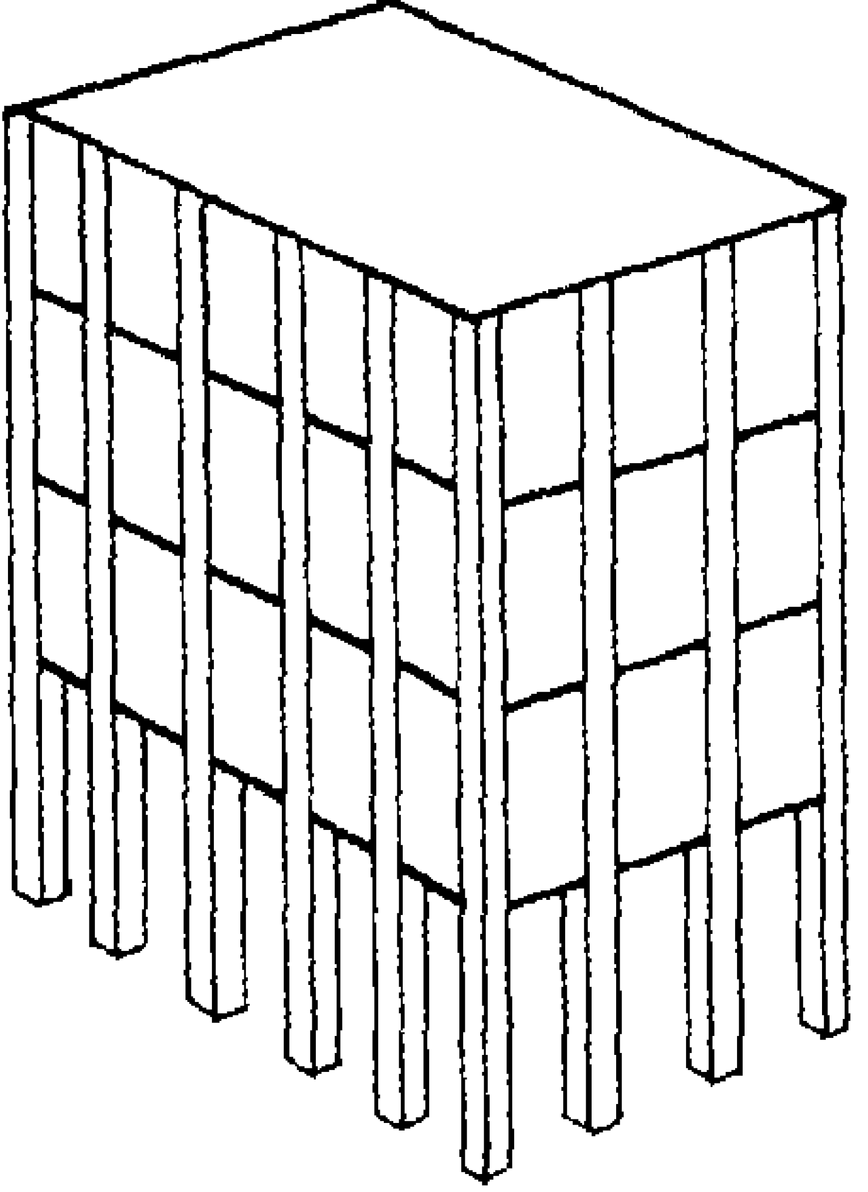
الشكل (٣-٣٦) بناء يتكون من ستة طوابق من الإطارات المدعمة مندمجة فى تصميمه.

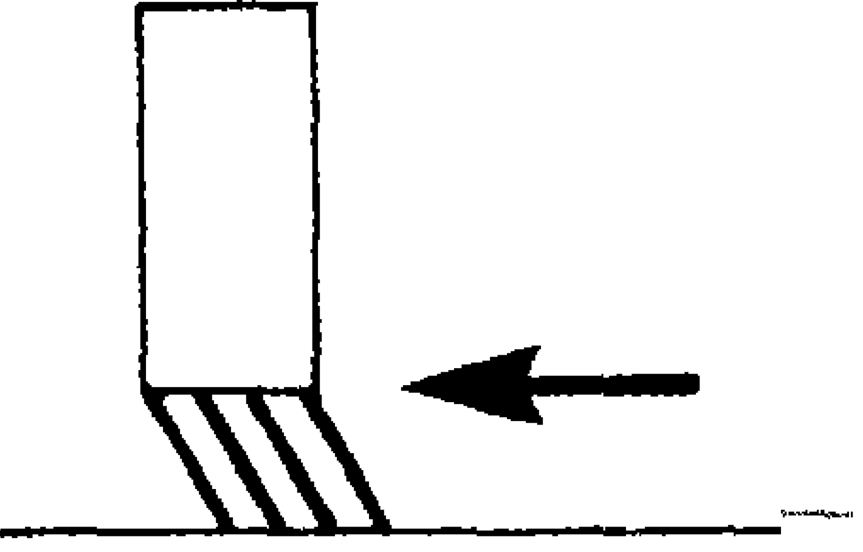


الشكل (٣-٣٧) مكتب التجهيزات المقاومة للكوارث فى محافظة سان دييجو يشغل مبنى من طابقين مساحته ٧,٠٠٠ قدم² مشيدا فوق ٢٠ دعامة من المطاط المخصب بالرصاص (عوازل الأساسات) تزن الواحدة طنا واحدا.

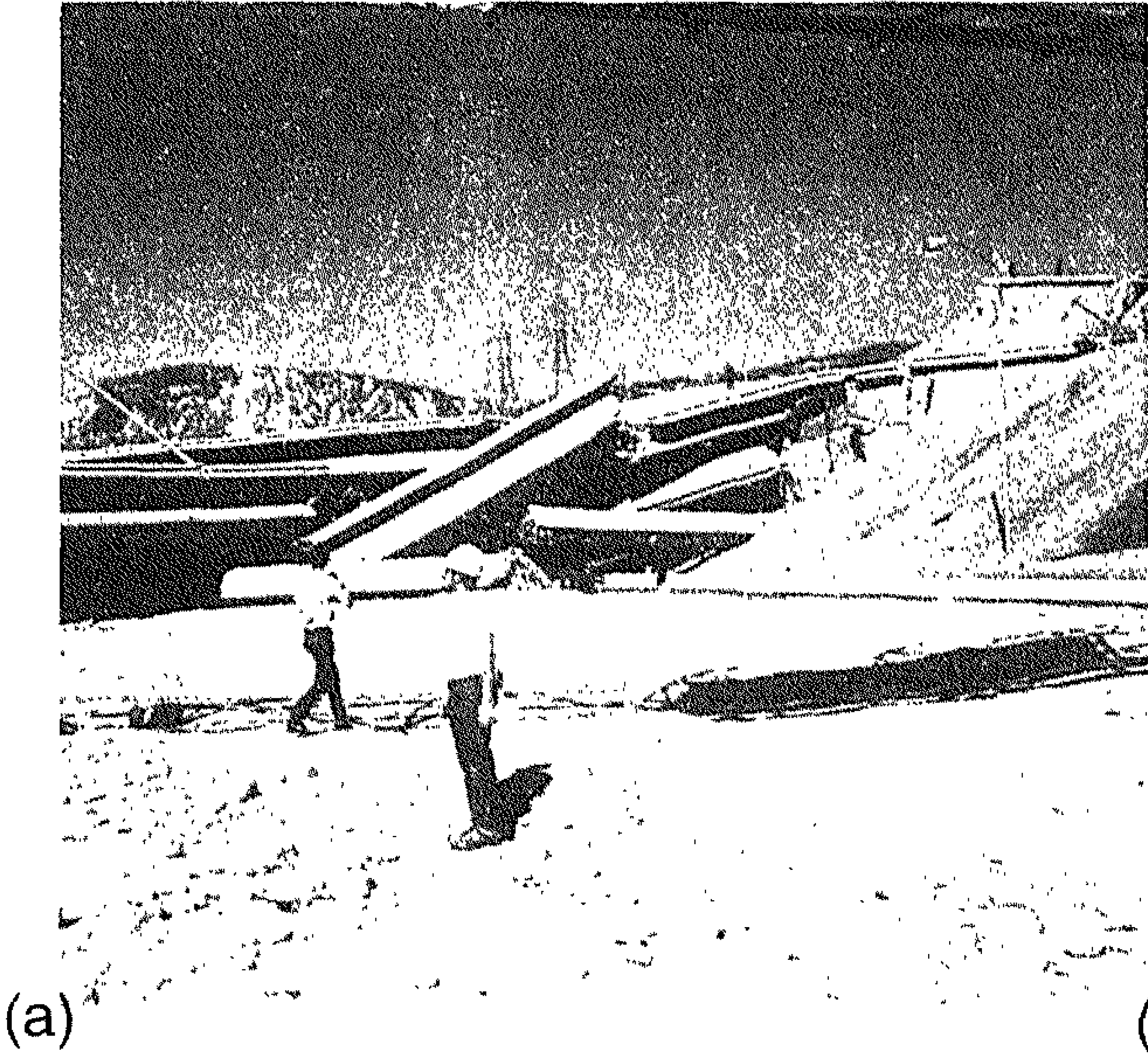


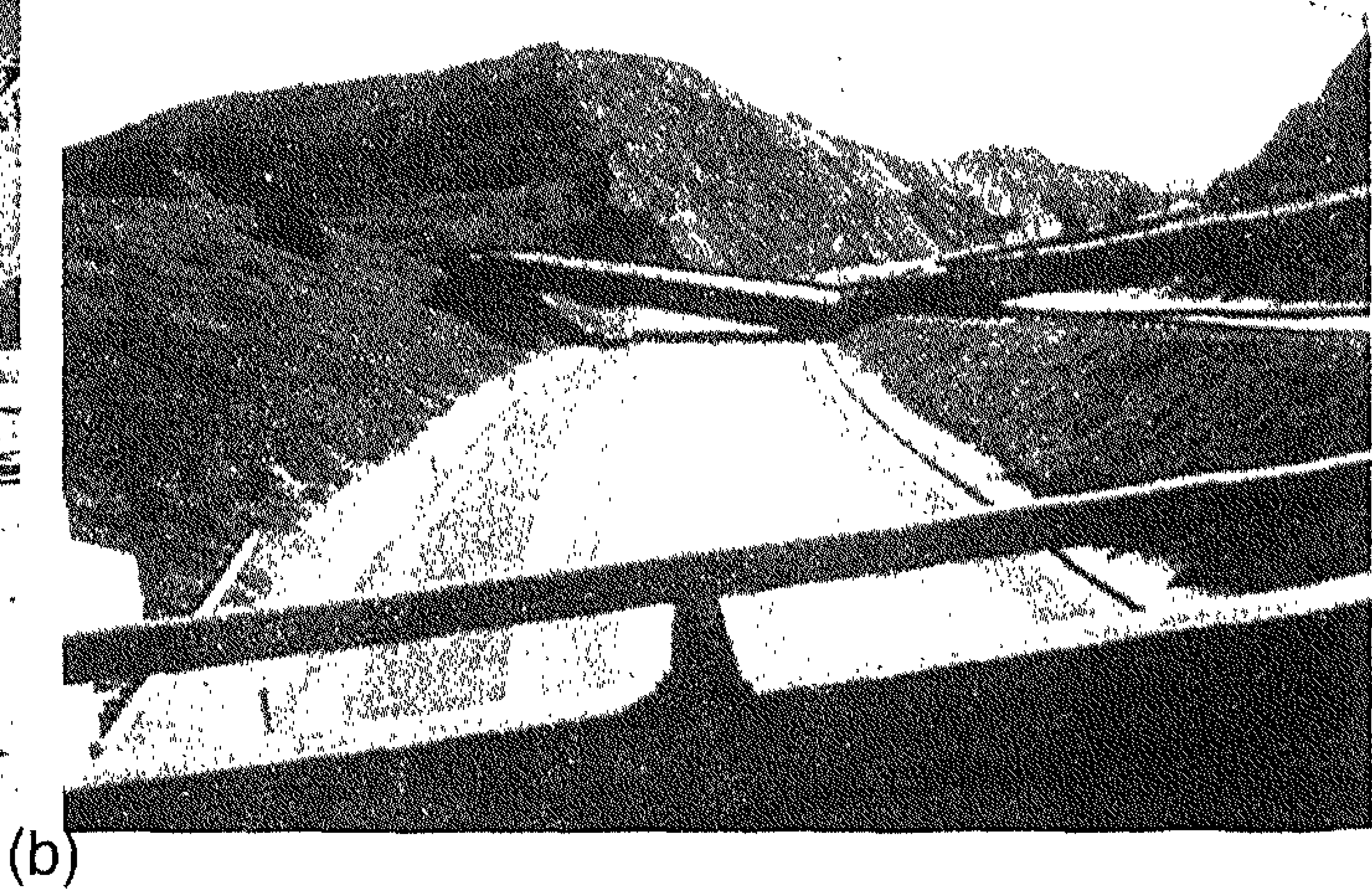
الشكل (٣-٣٨) خريطة كنتورية لشدة الزلازل بمقياس ميركاللى لزلزال ٩ فبراير ١٩٧١ فى سان فيرناندو توضح التناقص التدريجى فى الشدة كلما ابتعدنا عن المركز السطحى.



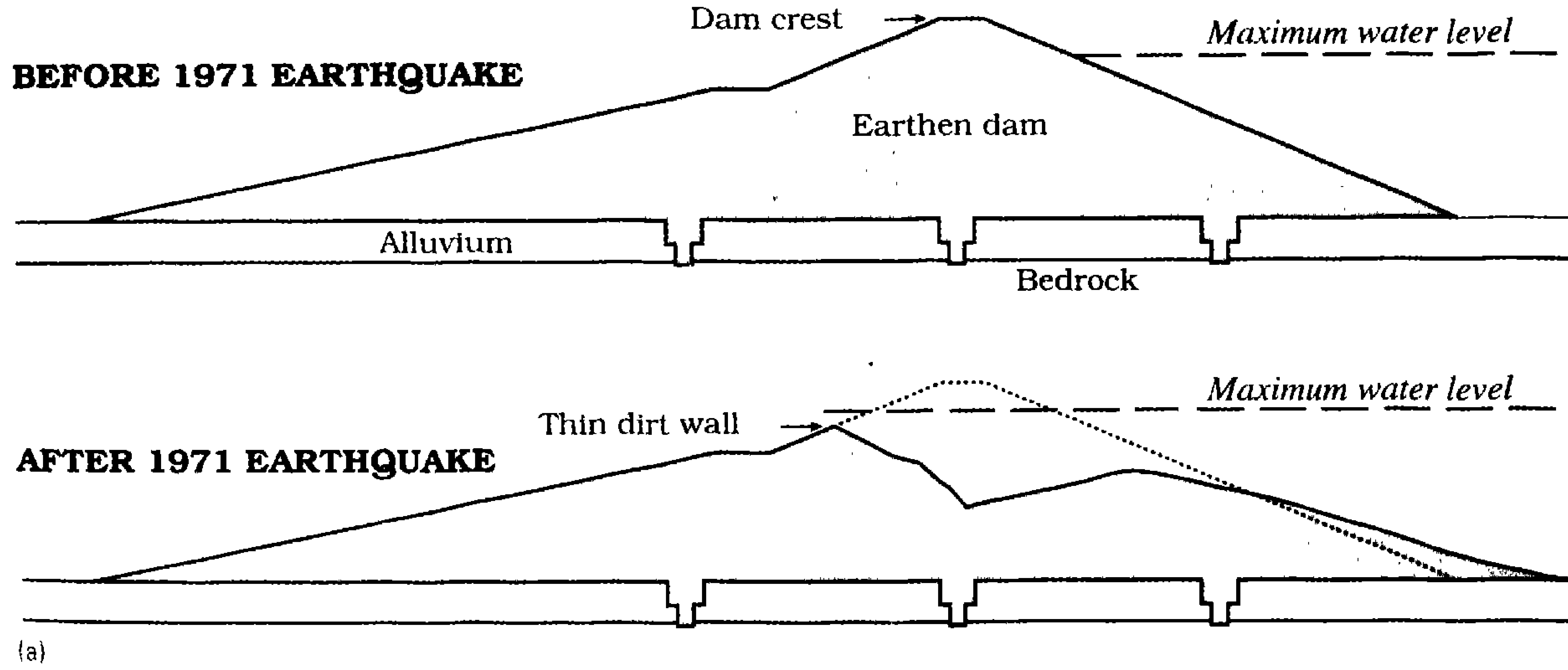


الشكل (٣-٣٩) مبان ذات طوابق أرضية هشة، (آ) ليس فيها دعامات كافية للطابق الأول ولا حوائط حمل لتنقل الأحمال الناجمة عن الاهتزاز إلى الأرض. ولهذا تركزت الإجهادات الزلزالية فى الفواصل بين الطابقين الأول والثانى مسببة تحرك المبنى إلى الأجناب وتسطح الطابق الأول.
(ب) وهذا هو أحد مبانى المكاتب الطبية المكون من ثمانية طوابق مشيداً فوق طابق أول هش. ويقع فى مدينة كاليفورنيا بالقرب من الصدوع النشيطة.





الشكل (٣-٤٠) انهيار أحد الكبارى. (أ) انهيار أحد كبارى الطريق السريع تحطمت فيه سيارة نقل وقتل شخصان. (ب) إذا حدث أن وقع الزلزال بعد الساعة ٦ صباحا لراح ضحيته أناس أكثر نتيجة تحطم هذه الكبارى.



الشكل (٣-٤١) انهيار سد فام نورمان السفلى. (أ) انزلاق أرضي هبط بالسد ٣٠ قدما.



(b)

(ب) لو زاد زمن الهزة العنيفة بضع ثوان أخرى لانطلقت قوة مدمرة قدرها ١١.٠٠٠ إيكر - قدم من الماء على سكان وادى سان فيرناندو وراء السد.

جداول الفصل الثالث

الجدول (٣-١) بعض الموجات السنامية المعروفة حديثا

Date		Cause	Height	Site	Deaths
1 November	1755	Earthquakes	10 m	Lisbon, Portugal	30,000
27 August	1883	Krakatau collapse	35 m	Indonesia	36,000
15 June	1896	Earthquake	29 m	Japan	27,000
2 March	1933	Earthquake	20 m	Japan	3,000
1 April	1946	Earthquake	15 m	Alaska	175
22 May	1960	Earthquake	10 m	Chile	> 1,250
27 March	1964	Earthquake	6 m	Alaska	125
1 September	1992	Earthquake	10 m	Nicaragua	170
12 December	1992	Earthquake	26 m	Indonesia	> 1,000
12 July	1993	Earthquake	31 m	Japan	239
2 June	1994	Earthquake	14 m	Indonesia	238
17 July	1998	Landslide	15 m	Papua New Guinea	>2,200

الجدول (٣-٢) نماذج من الفترات الزمنية والأطوال للموجات

		Periods	Lengths	
Wind-blown Ocean Waves	short:	5 seconds	39 m	(128 ft)
	medium:	10 seconds	156 m	(512 ft)
	long:	20 seconds	624 m	(2,048 ft)
Tsunami	long:	3,600 seconds (60 minutes)	837,000 m	(2,745,600 ft) (520 mi)

الجدول (٣-٣) طاقة الزلازل بمقياس ريختر

Richter Magnitude	Energy Increase	Energy Compared to Magnitude 4
4		1
5	48	48
6	43	2,050
7	39	80,500
8	35	2,800,000

الجدول (٣-٤) الزلازل في العالم كل سنة

Magnitude	Number of Quakes Per Year	Description
8.5 and up	0.3	
8–8.4	1	Great
7.5–7.9	3	
7–7.4	15	Major
6.6–6.9	56	
6–6.5	210	Strong (Destructive)
5–5.9	800	Moderate (Damaging)
4–4.9	6,200	Light
3–3.9	49,000	Minor
2–2.9	350,000	Very minor
0–1.9	3,000,000	

الجدول (٣-٥) **مقياس ميركاللى المعدل لشدة الزلزال**

١ - لا يشعر به إلا عدد قليل جدا من الناس وخاصة فى ظروف مناسبة.

٢ - يشعر به عدد قليل من الناس فقط فى وقت الراحة، وخصوصا فى الطوابق العليا من المبانى ذات الطبيعة الشديدة الحساسية.

٣ - يشعر به الناس تماما داخل المنازل وخصوصا فى الطوابق العليا، ولكن كثيرا من الناس لا يستطيعون تمييزه على أنه زلزال. واهتزازاته تشبه الاهتزازات الناجمة عن مرور سيارات النقل الخفيفة. وربما اهتزت السيارات الواقفة قليلا. ويمكن تقدير زمن استمرار الهزة.

٤ - يشعر به كثير من الناس داخل المبانى وقليل من الناس خارجها. وربما استيقظ النائمون ذوى النوم الخفيف. واهتزازاته تشبه الاهتزازات الناجمة عن مرور سيارات النقل الثقيل أو كأن يرتطم بالمبنى شىء ثقيل. وتتأرجح السيارات الواقفة. وتجلجل النوافذ والأطباق والأبواب؛ وتصلصل وتقعقع الأوانى الزجاجية والفخارية. وفى المدى الأعلى لهذه الفقرة (٤) تزيق الإطارات والحوائط الخشبية.

٥ - يشعر به كل من كان داخل المبانى، وكذلك الكثيرون ممن كانوا خارجها. يستيقظ كثير من النائمين. يخيف الكثيرين ويهرول البعض خارجين من المبانى. وتتحطم بعض الأطباق والأوانى الزجاجية والنوافذ. وتظهر شروخ بسيطة فى الجص. وتتحرك الأشياء الصغيرة وتنسكب السوائل وتدق الأجراس الصغيرة وتتأرجح الأشياء الطويلة. وترتبك الساعات ذات البندول.

٦ - يشعر به الجميع؛ ويخاف الكثيرون ويهرولون خارج المبنى. وتعم الإثارة. وتتحطم الأطباق والأوانى الزجاجية والنوافذ بكميات لا بأس بها. ويسقط النجف الصغير والكتب والصور. ويتحرك الأثاث أو ينقلب. وتتشقق الحوائط الجصية وبعض الحوائط المبنية بالطوب. والخسائر طفيفة.

٧ - يخيف الجميع؛ ويصعب الوقوف. يشعر به سائقو السيارات. تدق الأجراس الكبرى. والخسائر تكاد لاتذكر فى المبانى ذات التصميم الجيد والبناء المتين، وطفيفة فى المبانى العادية الجيدة البناء ولكنها أكثر فى المبانى الرديئة التصميم والبناء، والمقرَّات والجدران القديمة. وتتحطم كثير من النوافذ وبعض المداخن. وتحدث انزلاقات أرضية صغيرة وتتحطم الكهوف الرملية وحواجز الحصى. وتثور الأمواج فى البرك، ويضطرب الماء.

٨ - ينتشر الرعب ويثير الإنذار الذعر. ويضطرب سائقو السيارات. وينقلب الأثاث الثقيل. والخسائر طفيفة فى المنشآت الجيدة التصميم ومعقولة فى المبانى العادية بما فيها من انهيار جزئى. وتتحرك المنازل المبنية بالإطارات بعيدا عن أساساتها إذا لم تكن مربوطة جيدا. وتسقط معظم الحوائط والمداخل والأبراج والنصب التذكارية. وتندفع الينابيع ويتغير منسوب الماء فى الآبار. وتظهر الشروخ فى الأرض الرطبة والمنحدرات.

٩ - ذعر عام. والخسائر معقولة حتى فى المبانى المصممة على تحمل الزلازل. وتقذف بالمنازل المبنية جيدا بالإطارات بعيدا عن الأعمدة. وتتشقق الأرض بوضوح. وتتكسر الأنابيب تحت الأرض. وفى المناطق الرسوبية الرخوة تفرز الأرض الرمال والطين على شكل نافورات وتترك فجوات كفوهات البراكين.

١٠- ومعظم المبانى العادية تدمَّر. وتسقط بعض المنشآت الخشبية والكبارى. وتتشقق الأرض بخطورة وتحدث خسائر جسيمة بالسدود والحواجز. وتحدث انزلاقات أرضية كبيرة على ضفاف الأنهار والمنحدرات الشديدة. وتنثنى خطوط السكك الحديدية قليلا.

١١- وقليل من المبانى العادية يظل قائما. وتحدث خسائر فادحة فى السدود والحواجز، على مسافات كبيرة. وتسقط دعامات الكبارى الضخمة. وتحدث شقوق عريضة فى الأرض وتنخسف الأرض وتنزلق فى الأراضى

الرخـوة والرطبـة. وتصبـح خطوط الأنابيب تحت الأرض غـيـر صـالحـة للاستخدام. وتنثنى كثيرا خطوط السكك الحديدية.

١٢- والخسائر تقريبا شاملة. والسطوح الأرضية تبدو كأنها تتحرك فى أمواج. وتضطرب خطوط البصر والمناسيب. وتقذف الأشياء فى الهواء.

الجدول (٣-٦) مقارنة بين قوة الزلزال وشدته وتسارعه

Richter Magnitude	Mercalli Intensity		Acceleration (% g)
2 and less	I–II	Usually not felt by people	less than 0.1–0.19
3	III	Felt indoors by some people	0.2–0.49
4	IV–V	Felt by most people	0.5–1.9
5	VI–VII	Felt by all; building damage	2–9.9
6	VII–VIII	People scared; moderate damage	10–19.9
7	IX–X	Major damage	20–99.9
8 and up	XI–XII	Damage nearly total	over 100 = over 1 g

الجدول (٣-٧) قوة الزلزال مقابل طول الهزة

Richter Magnitude	Duration of Strong Ground Shaking in Seconds
8–8.9	30 to 90
7–7.9	20 to 50
6–6.9	10 to 30
5–5.9	2 to 15
4–4.9	0 to 5

مراجع الفصل الثالث

Suggested Readings and References نصوص ومراجع مقترحة

Bernstein, Joseph. (1954, August). Tsunamis. *Scientific American,* 191, 60–64.

Bolt, B. A. (1997.) *Earthquakes.* New York: W. H. Freeman.

Building Seismic Safety Council. (1986). *Improving Seismic Safety of New Buildings: A Community Handbook of Societal Implications.* Washington, D.C.: Federal Emergency Management Agency.

Dudley, W. C., and Lee, M. (1998). *Tsunami.* Honolulu: Univ. Hawaii Press.

Gere, J. M., and Shah, H. C. (1984). *Terra Non Firma.* New York: W. H. Freeman.

Holmes, A. (1965). *Principles of Physical Geology.* New York: Ronald Press.

Myles, Douglas. (1985). *The Great Waves.* London: Robert Hale.

Shelton, J. S. (1966). *Geology Illustrated.* New York: W. H. Freeman.

Yanev, P. (1974). *Peace of Mind in Earthquake Country.* San Francisco: Chronicle Books.

Yeats, R. S., Sieh, K., and Allen, C. R. (1997). *The Geology of Earthquakes.* New York: Oxford University Press.

Videos الفيديو

Raging Planet: Earthquake. (1997). Discovery Channel video (50 min.).

When the Earth Quakes. (1990). National Geographic (28 min.).

The Earth Revealed—Earthquakes. (1992). Annenberg/CPB Project (30 min.).

The Earth Revealed—Living with Earth. (1992). Annenberg/CPB Project (30 min.).

Earthquakes: Exploring Earth's Restless Crust. (1983). Encyclopedia Britannica (22 min.).

Killer Wave: Power of the Tsunami. (1997). National Geographic (60 min.).

Raging Planet: Tidal Wave (*sic*). (1997). Discovery Channel (50 min.).

الفصل الرابع

الزلازل فى غربى أمريكا الشمالية

وتبدو الطبيعة ذات سمات خلاف أحاسيسها الشاعرية

لها نزوات بأفعالها فى زمان بذاته

وتأتى بها لا تبررها وبدون ضوابط تحكمها

وتقرأ صفحاتها بانتباه كشخص غريب عجيب المزاج

كشخص يجُبُّ الحنان، يبث القساوة دون انحياز

فبالقساوة سطوته، وبالحلاوة نفحته

فهى دون نظام تتقلب.

توماس هاردى فى ١٨٧٣
العينان الزرقاوان

تؤثر الزلازل فى حياة الناس الذين يعيشون فى غربى أمريكا الشمالية (الشكل ٤-١). ولكى نفهم الزلازل التى تجتاح غربى أمريكا الشمالية، فمن الضرورى أن نعرف تاريخ الألواح التكتونية فى الإقليم. وكلما اتسع حوض المحيط الأطلنطى، تحركت كلتا الأمريكتين الشمالية والجنوبية نحو الغرب فى حوض المحيط الهادى فتنقصان من حجمه (الشكلان ٢-٧ و٢-١٩). وتحدد أوضاع الألواح وحركاتها عبر الزمان البقع الحارة فى الوشاح. فالبقع الحارة تتحرك بمعدل أبطأ من الألواح المحيطية. ولهذا فهى

تعمل كنقط مراجعة نصف ثابتة. ومنذ ٣٠ مليون سنة انضوى معظم القطاع الشمالى من لوح فاراللون تحت أمريكا الشمالية (الشكل ٤-٢). ومنذ حوالى ٢٨ مليون سنة تواصل القسم الأول من مركز انتشار المحيط الهادى بالقرب من الحدود الحالية بين الولايات المتحدة والمكسيك. وظلت تعمل بقية مراكز الانتشار فى الشمال والجنوب كسابق عهدها. فما الذى وصل هذه الأقسام من فروع مركز الانتشار؟ صدع تحويلى سابق لصدع سان آندرياس.

وفى ٥ر٥ مليون سنة الأخيرة اتسع خليج كاليفورنيا حوالى ٣٠٠ كم (١٩٠ ميلا) وهذا العمل الانشطارى فصل باجاكاليفورنيا وكاليفورنيا إلى الغرب من صدع سان آندرياس (متضمنا سان دييجو ولوس آنجلوس وسانتاكروز) عن لوح أمريكا الشمالية وألقى بهما على عاتق لوح المحيط الهادى (الشكل ٤-٢). وظل خليج كاليفورنيا يتسع وهو يحمل الكاليفورنيتين على لوح المحيط الهادى بمعدل حوالى ٥٦ مم/سنة (٢,٢ بوصة/سنة).

فماذا يكون مصير شبه جزيرة كاليفورنيا؟ فهل تنفصل بفعل زلزال عملاق وتغطس فى قاع المحيط الأطلنطى كما يتوقع بعض المفكرين؟ كلا! فعملية التمزق والغطس العملاقة مستحيلة؛ لأنها مجرد خيال. تذكر نظرية التوازن! فالقارات مكونة من صخور أقل كثافة بحيث تطفو فوق صخور الوشاح الأعلى كثافة. فشريحة غربى كاليفورنيا وباجاكاليفورنيا ستظل تتحرك شمالا بغرب تجاه آلاسكا. فهل يمكن أن يغطس القسم القارى من الكاليفورنيتين فى نطاق الانضواء على طول الحافة الجنوبية لآلاسكا؟ نقول لا مرة أخرى. فالتوازن يمنع انضواء كتل قارية أقل كثافة تحت صخور محيطية أعلى كثافة. وبدلا من هذا فسوف تجرف الكاليفورنيتان آلاسكا حتى يصبحا جزءا من حافتها الجنوبية. وسوف يتحول جنوبى كاليفورنيا من شواطئ ذات أمواج متكسرة إلى منحدرات للتزلج على الجليد.

واليوم توجد بأمريكا الشمالية عدة ألواح صغيرة ومتوسطة الحجم تنضوى تحت حافتها الغربية (الشكل ٤-٢). وكثير من المخاطر الزلزالية التى تحدث فى غربى أمريكا الشمالية ناجمة عن الانضواء الجارى لهذه الألواح الصغيرة وكذلك الآثار المستمرة لركوب لوح فاراللون. وعند دراسة أحجام ألواح المحيط الهادى وأمريكا الشمالية وفاراللون

يمكننا بسهولة تقدير أسباب الزلازل التى تؤثر على غربى الولايات المتحدة بأسره. فإذا علمنا أن اتساع لوح المحيط الهادى يزيد عن ١٣٠٠٠ كم (٨١٠٠ ميل) وأنه يطحن لوح أمريكا الشمالية الذى يزيد اتساعه عن ١٠٠٠٠ كم (٦٢٥٠ ميل)؛ فما أوسع النطاق الذى يتأثر بمرور هذه الهياكل الضخمة! وهل يمكن تخزين كل الإجهادات فقط على طول نظام صدع سان آندرياس؟ أم أن المنطقة التى تتأثر بها لابد أن تكون أكبر- فى حجم الولايات المتحدة بأكملها؟ وعند تقدير مقياس لهذه الألواح العملاقة يتضح لنا تماما أن تفاعلاتها تعتبر سببا مفهوما ضمنيا للزلازل فى غربى الولايات المتحدة.

وتقتصر دراستنا فى هذا الفصل على المناطق الساحلية للنظر فى الظاهرة الزلزالية المرتبطة بمراكز الانتشار والصدوع التحويلية ونطاقات الانضواء فى غربى أمريكا الجنوبية. وفى الفصل الخامس سوف نناقش تاريخ الزلازل واحتمالات حدوثها فى بقية أنحاء الولايات المتحدة وكندا.

زلازل نطاق الانضواء

يرجع السبب فى معظم الزلازل الكبرى فى العالم إلى الانضواء (الجدول ٤-١). فدخول ألواح المحيط ذات السمك الذى يبلغ عشرات الكيلومترات فى الوشاح يشتمل على قدر هائل من الطاقة. وفى الولايات المتحدة تعرف عادة كاليفورنيا بأنها «موطن الزلازل»، ولكن يتضح من الجدول (٤-١) أن آلاسكا أحق بهذا اللقب. ومنذ أكثر من ٥ ملايين سنة غطست أكثر من ٢٩٠ كم (١٨٠ ميلا) من لوح المحيط الهادى تحت جنوبى آلاسكا بالقرب من آنكوراج. وهذا ما أحدث بعض الزلازل المدمرة.

زلزال يوم الجمعة الطيبة فى آلاسكا فى ١٩٦٤

اشتملت رواية القديس ماثيو عن أول يوم للجمعة الطيبة على ما يلى: «وأنصتوا.. لقد زلزلت الأرض زلزالها، وتمزقت الصخور». وتنطبق هذه الكلمات ثانية

بعد ١٩٠٠ عام فى يوم الجمعة الطيبة الموافق ٢٧ مارس ١٩٦٤. ففى الساعة ٥,٣٦ مساء بمنطقة قفر عند رأس الأمير ويليام ساوند أحدثت حركة انضواء كبرى زلزالاً عملاقا. وأتبعته سلسلة من الهزات العنيفة بعد ٩ و١٩ و٢٨ و٢٩ و٤٤ و٧٢ ثانية عندما مال لوح طوله ١٠٠٠ كم (أكثر من ٦٠٠ ميل) تقريبا وعرضه حوالى ٤٠٠ كم (٢٥٠ ميلا) فى طريقه إلى الوشاح. وتقع آلاسكا فوق اللوح الراكب على لوح المحيط الهادى المنضوى؛ وانتقل أفقيا (نحو البحر) حتى ١٩,٥ مترا (٦٤ قدما) وارتفع رأسيا ١١,٥ مترا (٣٨ قدما). وهذا التمدد الأفقى من جانب اليابسة أحدث سقوطا لكتلة من اليابسة قدره ٢,٣ أمتار (٧,٥ قدما) (الشكل ٤-٣). وكانت بعض تفريعات قاع البحر أكبر؛ فقد شاركت فى هذه الحركة الضخمة ١١٠٠٠٠ ميل مربع من اليابسة ومن قاع البحر. وكانت أعماق البؤرة تتراوح بين ٢٠ حتى ٥٠ كم (١٢-٣٠ ميلا).

واستمرت الهزة الأرضية القوية مدة حوالى ٣-٤ دقائق، وحفزت عدة جلاميد للسقوط وكذلك عدة انزلاقات أرضية وتسويات أرضية وموجات سنامية. وتكبدت مدينة فاليز خسائر فادحة من جراء التشوهات الأرضية والانزلاقات الأرضية تحت الماء التى سببت موجات سنامية فدمرت واجهات المنشآت المطلة على الماء. وكانت الخسائر فادحة لدرجة أن المدينة أعيد إنشاؤها فى موقع آخر. وتكبدت آنكوراج، أكبر مدن آلاسكا خسائر فادحة من الانزلاقات الأرضية. ولكن كان هناك عنصر من الحظ حليفا فى توقيت الزلزال؛ إذ حدث فى أواخر يوم الجمعة، حيث كان قليل من الناس فى وسط مدينة آنكوراج التى تكبدت خسائر جسيمة؛ وكان المد منخفضا؛ وكان موسم الصيد منتهيا ولهذا لم يكن هناك أناس كثيرون على الأرصفة أو فى مصانع التعليب: وكان الطقس فى الأيام التالية موسميا دافئا وبهذا أنقذ كثيرا من الأرواح من وطأة البرد بينما كانت أنظمة التدفئة فى منازلهم عاطلة.

فلو قدر لهذا الزلزال أن يحدث بالقرب من منطقة كثيفة السكان لكانت أبعاد المأساة البشرية تفوق الخيال. وكانت الخسائر المادية أكثر ١٠٠ مرة من الثمن الذى دفعته الولايات المتحدة لروسيا فى ١٨٦٧ لشراء ألاسكا.

مكسيكو سيتى فى عام ١٩٨٥

فى صباح يوم الثلاثاء ١٩ سبتمبر ١٩٨٥ كان معظم سكان مكسيكو سيتى البالغ عددهم ١٨ مليون نسمة بالمنازل يتناولون طعام الإفطار. وفى الساعة ٧,١٧ صباحا ثار زلزال وحشى على بعد ٣٥٠ كم (٢٢٠ ميلا). ومرت بعض الموجات الزلزالية بعيدا لتسدد ضربات مدمرة لكثير من المبانى ذات ٦ حتى ١٦ طابقا التى كانت مزدحمة بكثافة أثناء ساعات العمل اليومية (الشكل ٤-٤). وقتلت انهيارات المبانى حوالى ٨٠٠٠ شخص.

فما سبب ذلك الزلزال؟ نفَّذ لوح كوكاس إحدى حركاته المتكررة إلى أسفل. وفى هذه المرة مالت جهة طولها ٢٠٠ كم (١٢٥ ميلا) ١٨ درجة إلى الشرق وانضغطت إلى أسفل وإلى الشرق حوالى ٢,٣ مترا (٧,٥ قدما) فى هزتين متميزتين بفاصل بينهما ٢٦ ثانية (الشكل ٤-٥). وكانت للهزة الرئيسية موجة سطحية (Ms) قوتها ٨,١. وفى يوم ٢١ سبتمبر تلتها موجة تابعة Ms قوتها ٧,٥ وأخرى Ms فى يوم ٢٥ أكتوبر بقوة ٧,٣ . ولم تكن الزلازل مفاجأة لخبراء الزلازل؛ فقبل أن تحدث هذه الزلازل كانت المنطقة تعرف بأنها ثغرة زلازل ميتشوكان، فانتشرت كثير من الأجهزة فى الإقليم لقياس الأحداث الكبيرة المتوقعة.

ويوضح الشكل (٤-٥) أن ثغرة زلزالية كبيرة أخرى ينتظر أن تتعرض لحركة كبيرة من لوح كوكاس. وتقع ثغرة جيريرو بالقرب من آكابولكو الأقرب لمكسيكو سيتى من المركز السطحى لميتشوكان.

والزلازل لا تقتل ولكن المبانى هى التى تقتل. تكبدت الكثير من المدن الساحلية القريبة من المركز السطحى قدرا محدودا من الخسائر؛ ولكن أكثر من ٥٧٠٠ مبنى فى مكسيكو سيتى تكبدت خسائر فادحة؛ إذ انهار ١٥٪ منها انهيارا كارثيا. فلماذا انهار هذا العدد الهائل من المبانى وقتل هذا العدد الضخم من الناس؛ بينما تقع مكسيكو سيتى على بعد ٣٥٠ كم (٢٢٠ ميلا) من المركز السطحى للزلزال؟ يرجع ذلك بقدر كبير إلى الرنين بين الموجات الزلزالية، والأساسات المقامة على بحيرة من الرواسب الرخوة

والمبانى الرديئة التصميم. وتزايدت المدة الزمنية لاستمرار الزلزال نظرا للطاقة الزلزالية المحتبسة فى الرواسب الرخوة.

ومكسيكو سيتى مبنية فوق مدينة تينوكتيتلان العاصمة السابقة لقبائل آزتيك. وقد بنى الآزتيك مدينتهم حيث رأوا الفأل الحسن - نسرا واقفا على شجرة صبار ممسكا فى فمه بثعبان يتلوى. وكان هذا الموقع بحيرة تكسيكوكو الواسعة المحاطة بصخور بركانية صلدة. وبمرور الزمن امتلأ نسبيا حوض البحيرة بالصلصال الرخو المشبع بالماء. وتم تصريف الماء من أجزاء من البحيرة وأقيمت فيها مبان ضخمة فوق الرواسب الضعيفة فى قاع البحيرة.

وكانت الخسائر فى المبانى أعظم وعدد الوفيات أكبر حيث تضافرت عناصر ثلاثة فى إيجاد الرنين: العنصر الأول - أطلقت الزلازل قدراً هائلاً من الطاقة فى الموجات الزلزالية فى حزمة التردد البالغ مقدارها من ١ حتى ٢ ثانية. والعنصر الثانى - المناطق التى تقع تحتها طبقة رخوة وسميكة من الصلصال واهتزت بتردد من ١ حتى ٢ ثانية ضخمت الموجات الزلزالية (الشكل ٤-٦). والعنصر الثالث - المبانى ذات الطوابق من ٦ حتى ١٦ اهتزت بحزمة تردد مقدارها من ١ حتى ٢ ثانية. وعندما تضافرت العناصر الثلاثة وقعت الكارثة.

وكانت هناك أخطاء فى تصميم المبانى المنهارة (الشكل ٤-٧) بما فيها الطوابق الأولى الهشة وأجنحة المبانى الرديئة الربط والمبانى الغريبة الشكل التى مالت وانفتلت عند أساساتها والمبانى ذات الارتفاعات المختلفة وترددات الاهتزازات التى التصقت ببعضها البعض وارتطمت ببعضها أثناء الزلزال (الشكلان ٤-٧جـ ، و٤-٨).

الزلازل المرتقبة فى شمال غربى المحيط الهادى

كان سبب زلزال مكسيكو سيتى فى ١٩٨٥ هو انضواء لوح صغير تجاه الشرق تحت لوح أمريكا الشمالية. وهناك ألواح أخرى صغيرة تنضوى تحت أمريكا الجنوبية فى نطاق انضواء كاسكاديا (الشكل ٤-٩). ولم تقع زلازل عملاقة فى شمال غربى

المحيط الهادى فى خلال ٢٠٠ سنة تقريبا منذ أن استوطنها الأوروبيون. فهل تظل هذه المنطقة خالية من الزلازل العملاقة؟ وهل يمكن أن ينسد نطاق انضواء كاسكاديا مثل البالوعة المسدودة بما يفيد توقف الانضواء؟ كلا. فالبراكين النشيطة فوق ألواح الانضواء تؤكد أن الانضواء لن يتوقف (انظر الفصل السابع). وهل يمكن أن يحدث الانضواء بنعومة وبهذا نتخلص من الزلازل العملاقة؟ ربما لا. فطبقة القشرة المحيطية التى تنضوى حديثة العمر، إذ تبلغ حوالى عشرة ملايين سنة من العمر تقريبا. والقشرة المحيطية الحديثة العمر أكثر طفوا ولكنها تنضوى تماما عندما تركبها قشرة قارية. وتتحرك قارة أمريكا الشمالية جنوبا بمقدار ٢,٥ سم/سنة (١ بوصة/ سنة) وتتصادم مع اللوح المحيطى الذى ينضوى على طول خط العرض ٦٨ شمالا ويتجه شرقا ٤,٣ سم/ سنة (١,٧ بوصة/سنة). وبهذا يبدو مؤكدا أن نطاق الانضواء يختزن طاقة مرنة.

ويبلغ طول نطاق انضواء كاسكاديا ١٢٠٠ كم (٧٥٠ ميلا). وخواصه فى حداثة عمر اللوح المحيطى وتعشيقه القوى باللوح الراكب تماثل مواقف تحدث فى جنوب غربى اليابان وجنوبى شيلى. ويجد الإجهاد متنفسا فى اليابان فى زلزالين بقوة ٨,١ Mw فى عامى ١٩٤٤ و١٩٤٦. (وربما تغطى سلسلة من أربعة إلى خمسة زلازل مماثلة نطاق انضواء كاسكاديا بطوله). وتتصرف إجهاد جنوبى شيلى فى أكبر زلزال قيس فى العالم ٩,٥ Mw. ويبلغ طول تمزق شيلى حوالى ١٠٠٠ كم (أكثر من ٦٠٠ ميل). ويمكن لزلزال فى قوة حدث شيلى أن يفتح نطاق كاسكاديا بأسره.

زلزال عام ١٧٠٠ ، أسفرت الدراسات الحديثة أن آخر الزلازل الكبرى حدثت هنا فى حوالى الساعة ٩ مساء فى يوم ٢٦ يناير عام ١٧٠٠ وكانت قوته حوالى ٩. فكيف عرفنا ذلك؟ هناك خطان متقاربان من البراهين. (١) بحساب عدد حلقات النمو السنوية فى أشجار الغابات التى أغرقت على طول ساحل أوريجون - وواشنطن - وبريتيش كولومبيا تبين أن الأشجار الميتة ليست لها حلقات بعد عام ١٦٩٩. ويبدو أن الأرض هبطت أثناء الزلزال وتسرب الماء إلى جذور الأشجار فقتلها فيما بين أغسطس ١٦٩٩ ومايو ١٧٠٠، بين نهاية أحد مواسم النمو وبداية الموسم التالى (الشكل ٤-١٠). (٢) يحتفظ اليابانيون بسجلات تفصيلية للموجات السنامية وأحجامها وهى التى تحدث متزامنة مع الزلازل بقوتها ومواقعها حول المحيط الهادى.

فالموجات السنامية التى بلغ ارتفاعها مترين (٧ أقدام) وضربت اليابان فى الفترة من منتصف الليل حتى الفجر تدل على أن زلزالا وقع فى الساعة ٩ مساء على طول ساحل واشنطن أوريجون فى يوم ٢٦ يناير ١٧٠٠.

فإذا كنت مقيما فى بريتيش كولومبيا – أو واشنطن– أو أوريجون منذ ثلاثة قرون فما الذى كنت تشعر به؟ اهتزاز عنيف للأرض لمدة ٣–٥ دقائق وموجة سنامية ارتفاعها ١٠ أمتار (٣٣ قدما) تندفع نحو الشاطئ. وماذا يفعل زلزال تال قوته ٩ وله صدمات تابعة كبرى فى مدن مثل بورتلاند وتاكوما وسييتل وفانكوفر وڤيكتوريا؟ وما هو الزلزال الذى قوته ٩ والذى يحدث مستقبلا فى شمال غربى المحيط الهادى؟

زلازل مركز الانتشار

لمراكز انتشار البحر الأحمر ومنطقة الصدع التحويلى للبحر الميت فى العالم القديم نظير فى العالم الحديث بمراكز الانتشار التى تفتح خليج كاليفورنيا وتحرك صدع سان آندرياس (الشكل ٤–١١). ومن الوجهة الجيولوجية فإن حوض خليج كاليفورنيا لا يقف حين يقف البحر عند خط الساحل الشمالى فى المكسيك. وحوض المحيط المفتوح يستمر شمالا فى الولايات المتحدة ويضم بحر سالتون وكوتشيللا ووديان أمبيريال فى نهايات بحر سالتون. وإقليم وديان أمبيريال هو القسم الوحيد الواقع فوق قاع المحيط المفتوح. وفى الزمن الجيولوجى الماضى كان البحر يغمر هذا الإقليم. وعلى أية حال، ففى الوقت الحالى تمنع حركات الصدع والحجم الهائل من الرواسب التى يرسبها نهر كولورادو ماء خليج كاليفورنيا من التسرب. فإذا فتحت ثغرة فى السد الطبيعى لازدهرت تجارة الولايات المتحدة فى أهم مناطق الإنتاج الزراعى فيها نظير البحر المغلق الجديد داخل اليابسة.

ويتميز قسم مركز الانتشار الواقع فى نهاية القطاع الجنوبى من بحر سالتون بتدفق الحرارة العالية والقباب الزجاجية البركانية وأوانى الطين المغلى والمخزون الكبير من الطاقة الحرارية الأرضية (المياه تحت السطح تسخن لدرجة ٤٠٠ مئوية تقريبا

بوجود الصهارة تحت السطح)، ومجموعات من الزلازل مرتبطة بالصهارة المتحركة (الشكل ٤-١١).

وحوض سالتون من أكثر المناطق نشاطا للزلازل فى الولايات المتحدة. فهناك زلازل تسببها الشروخ والشقوق فى الصخر القارى، ومجموعات من الزلازل تسببها الصهارة المتحركة بنشاط. وتألف منطقة زلازل براولى فى النهاية الجنوبية لبحر سالتون مئات الزلازل فى مدى بضعة أيام. فمثلا، فى أربعة أيام من شهر يناير عام ١٩٧٥ حدثت ٣٣٩ هزة بقوة M_L تزيد عن ١,٥، و٧٥ هزة أخرى أشد عنفًا تزيد عن ٣ M_L وأكبر الهزات كانت قوتها ٤,٧ M_L. ونظرا إلى عدم قابلية الصخور الساخنة لتخزين الإجهاد بفاعلية، فإن الطاقة تنصرف عن طريق عدة زلازل صغيرة. وتولَّدت أكبر الزلازل فى الوادى من الشقوق فى الصخور القارية الهشة.

لاحظ فى الشكل (٤-١١) أن صدع سان آندرياس ينتهى عند النهاية الجنوبية الشرقية لبحر سالتون عند الحد الشمالى لمركز الانتشار. ولاحظ أيضا أن صدوعا أخرى كبيرة مثل أمبيريال ونظام سان جاكينتو وسيرو بريتو وإلزينور ولاجونا سالادا تبدو كذلك على أنها صدوع تحويلية تصطف مع أقسام مركز الانتشار. ومن المنظور الواسع، نجد أن جميع الصدوع شبه المتوازية واليمينيه الجانبية والتحويلية جزء من نظام صدع حدود لوح سان آندرياس الذى يحمل شبه جزيرة كاليفورنيا إلى الشمال الغربى. وتشمل الزلازل الكبيرة فى تلك الصدوع فى الأيام الأخيرة فى المنطقة التى يغطيها الشكل (٤-١١) زلزالا قوته ٧,١ M_L(*) على صدع أمبيريال فى عام ١٩٤٠، وزلزالا بقوة ٦,٥ M_L فى نظام سان جاكينتو فى عام ١٩٤٢، وآخر بقوة ٦,٦ m_b على صدع أمبيريال فى عام ١٩٧٩ وغيره بقوة ٦,٤ m_b على صدع أمبيريال فى عام ١٩٨١، وزلزال بقوة ٦,٦ M_S فى نظام سان جاكينتو فى عام ١٩٨٧. هذه الزلازل كبيرة ولكن الوفيات والخسائر فى كل حدث منها كانت نمطيا طفيفة نظرا لندرة عدد السكان فى الإقليم ومعظم المبانى منخفضة وتخلصت الهزات المتكررة من المنازل الرديئة البناء.

(*) موجة محلية M_L - موجة داخلية M_b - موجة سطحية M_S. (المترجم)

زلازل الصدع التحويلى فى كاليفورنيا

سان فرنسيسكو فى ١٩٠٦

كانت سان فرانسيسكو فى باكورة القرن العشرين موطنا لحوالى ٤٠٠٠٠٠ مواطن يتمتعون بالعيش فى مدينة عالمية نمت فى أوقات الازدهار الاقتصادى الذى شهدته أواخر القرن التاسع عشر. وفى مساء يوم ١٧ أبريل ١٩٠٦ ارتعد الكثيرون طربا من الظهور الخاص لأشهر المطربين فى العالم إينريكو كاروسو. وهو يغنى مع فرقة أوبيرا متروبوليتان فى كارمين بيزيت. ولكن بعد ساعات قليلة، فى الساعة ٥,١٢ صباحا بدأت تصل الموجات الابتدائية لزلزال عملاق فتدمر المدينة. وكثرت روايات شهود العيان. فقال أحد المستيقظين مبكرا أنه شاهد الزلازال يقترب عندما ارتفع الشارع أمامه عرضيا وانخفض وكأنه سلسلة من موجات المحيط تتحرك نحو الشاطئ. وقال عالم النفس الأمريكى المشهور ويليام جيمس المقيم فى جامعة ستانفورد مايلى فى هذا الشأن:

> عندما شعرت بالسرير يتأرجح تبادر إلى ذهنى أحد الاهتزازات المرحة لطبيعة الحركة. «وأقسم بالله» أننى قلت لنفسى: «هذه هى توابع الزلزال القديم بعد كل شىء». ثم ولَّت تصاعديا، «وهى رائعة حقا كذلك».
>
> وجلست رغما عنى متخذا الوضع راكعا، وانقلبت على وجهى عندما اشتدت الهزة وكانت الغرفة حينئذ أشبه شىء بفأر يهتز فى فم كلب صيد. ثم انزلق كل شىء إلى الأرضية، وانقلب المكتب والخزانة ذات الأدراج بارتطام عندما ارتفع الصراخ؛ وتشقق الجص وزأرت ضوضاء مرعبة ملأت الفضاء الخارجى، وما هى إلا لحظة حتى استقر كل شىء ثانية. وكانت مشاعرى حافلة بالمرح والإعجاب؛ وكنت طروبا لأن تتحقق فكرة خيالية أو لفظ شفهى كالزلزال؛ الذى ترجم إلى إحساس بالحقيقة الواقعة؛

> وأعجبت بالطريقة التى استطاع بها المنزل الهش المصنوع من الخشب أن يتماسك إزاء هذه الهزات. ولم يساورنى أى شعور بالخوف، بل كان المرح يغمرنى. وصحت قائلا: «مرحبا بك أيها الزلزال! هات ما عندك أقوى من ذلك!»

وفى لحظة ضوضاء أطلقت الأرض التى تتأرجح بشدة أصواتا كئيبة مدوية مصحوبة بحطام المنشآت التى صنعها الإنسان. وعندما استقرت الأرض فى النهاية، خرج الناس من منازلهم وحملقوا فى سحابة ضخمة من الرماد قبل أن يشاهدوا الدمار. وتكومت المبانى غير المدعمة التى انهارت، بينما قاومت أكثر المبانى ذات الإطارات الحديدية والمبنية من الأخشاب. ومن عناصر الانهيار الأخرى طبيعة الأرض التى بنيت عليها. وكان الدمار هائلا فى تلك الأحياء من المدينة المبنية فوق حشوة صناعية من الردم المكدس فوق مستنقعات سابقة فى الخليج ذات أرض رطبة أو فى وديان صغيرة نحتتها مجارى الأنهار لتهيئتها لبناء المنشآت.

وبعد أن أفزعت الناجين الموجات المتكررة للتوابع بدأ ينمو ما هو أخطر حتى من الزلازل. إذ ارتفعت ألسنة الدخان من كثير من المواقع التى اشتعلت النيران فى أنقاضها الخشبية. ولسوء الحظ، أن نفس الموجات الزلزالية التى حطمت المبانى كسرت معظم أنابيب المياه، وبهذا حالت دون إطفاء الحرائق المتنامية. وبدأت الحرائق تندفع من المناطق التجارية والمناطق القريبة من موارد المياه بلا هوادة إلى بقية أحياء المدينة. وحاول اليائسون نسف المبانى لوقف انتشار الحرائق ولكنهم ما زادوها إلا تغذية، وحاولوا حتى إبعاد الحطام المشتعل إلى أماكن بدأت تنتشر فيها الحرائق.

وفى هذه الأثناء، وفى منطقة سكنية متلاصقة المنازل الخشبية المتعددة الطوابق، بدأت إحدى السيدات تعد وجبة الإفطار المكونة من البيض المقلى بلحم الخنزير وفى غفلة منها سقطت مدخنتها دون أن تدرى. فأحدثت حريقا جديدا أضيف إلى بقية الحرائق التى ظلت مشتعلة ثلاثة أيام وليلتين. وصدر فى **مجلة سان فرنسيسكو** التقرير التالى:

> وأفظع المشاهد على الإطلاق كان السكون الرهيب والحركة الدؤوبة - فالألوان لم تتميز بالنهار أو بالليل، ولكن الأصوات

كانت حادة النغمات شديدة النشاط والهياج بشكل لا يصدقه عقل خارج فوهة البركان. وكان المشهد الخلفي متوهجا بشكل رهيب وعبوس وكأنه منظر غريب لوجه رجل يحتضر.

وأحدثت الحرائق من الخسائر عشرة أضعاف ما أحدث الزلزال ذاته؛ فالحرائق دمرت من المباني ما يغطي ٤٩٠ مربعا من المدينة. وتركزت الوفيات والدمار في سان فرنسيسكو حيث مات ٣١٥ شخصا ولكن المنطقة المتضررة كانت أكثر بكثير. فحوالي ٧٠٠ وفاة حدثت في حزام طوله ٤٣٠ كم (٢٦٥ ميلا) من الأرض يقع بالقرب من صدع سان آندرياس. وتكبدت المدن الواقعة في نطاق الكثافة السكانية العالية مثل سان جوزي وسانتا روزا خسائر فادحة، ولكن المدن الأخرى الواقعة إلى الشرق من النطاق الضيق مثل بيركيلي وساكرامنتو تجنبت كثيرا من الخسائر. وتفاقمت المشكلات في الشهور التالية بسبب الأوبئة وأمراض التلوث التي أصابت سكان كاليفورنيا، وأصيب أكثر من ١٥٠ حالة بالطاعون الوبائي. وبإضافة جميع الوفيات بسبب إصابات الزلزال والأمراض ربما بلغ مجموع الوفيات من الزلزال حوالي ٥٠٠٠ نسمة.

ومن المظاهر المثيرة للانتباه في الكوارث آثار النشاط التي يُبديها كثير من الناجين. ففي أوقات الشدة يبدي الكثير من الناس حسن الخلق. ففي أعقاب هذا الزلزال مباشرة، خطط المتجاوبون من أهل سان فرنسيسكو لبناء معرض بنما- المحيط الهادي الدولي الذي أدهش العالم وخلَّف وراءه كثيرا من المباني التي يأوي إليها السياح اليوم. فالمدينة الجميلة لا يمكن إهمالها.

زلازل صدع سان آندرياس

يعتبر صدع سان آندرياس جزءا من منظومة مركبة من الصدوع شبه المتوازية (الشكل ٤-١٢). فصدع سان آندرياس بذاته يبلغ طوله ١,٢٠٠ كم (٧٥٠ ميلا)، وهو صدع يميني جانبي. وفي عام ١٩٠٦ انطلق قطاع الصدع في أقصى الشمال في محافظة مارين وسان فرنسيسكو، وتشقق شمالا وجنوبا في وقت واحد (الشكل ٤-١٣).

وعندما توقف انتقاله تشققت الأرض الواقعة بين كيب ميندو وسينو وسان جوان بوتيستا (الشكل ٤-١٢)؛ وتبلغ هذه المسافة ٤٣٠ كم (٢٦٥ ميلا). وتقدر قوة الزلزال حوالى ٨ نتجت عن حركة الصدع لمدة ٦٠ ثانية. وعندما توقفت الحركة انتقل الجانب الغربى إلى اتجاه الشمال أفقيا بحد أقصى ٦ أمتار (٢٠ قدما). وفى شبه الجزيرة الواقعة جنوبى سان فرنسيسكو شكلت حركات الصدوع تضاريس طبوغرافية مستطيلة لمناطق منخفضة تملؤها البحيرات اليوم، وسويت بعض شقوق الأرض بسبب حركات ١٩٠٦ وأقيمت عليها المبانى (الشكل ٤-١٤). وفى المستوى العمودى كسرت حركة الصدع تماما قشرة فى الإقليم سمكها ١٥-٢٠ كم. وتناقص مقدار حركة الصدع فى عام ١٩٠٦ إلى الصفر فى طرفى الكسر الشمالى والجنوبى.

واليوم، يعانى قطاع سان فرنسيسكو فى صدع سان آندرياس من نقص فى الزلازل. فهذا القطاع من الصدع مقفل ظاهريا (الشكل ٤-١٥). ويختزن تقريبا كل الإجهاد الناتج عن الألواح التكتونية لعدة قرون حتى لا يستطيع الصدع فى آخر الأمر أن يختزن المزيد ويتمزق فى حدث كبير ويصرِّف طاقته المخزونة فى حركة كارثية.

ولصدع سان آندرياس سلوكيات مختلفة على طول امتداده. فالقطاع التالى إلى الجنوب الواقع بين سان جوان بوتيستا وكولامى (الشكلان ٤-١٢ ، و٤-١٥)، تتكرر فيه الزلازل الصغيرة والمتوسطة الحجم. وهو قطاع زاحف من الصدع حيث تمتص الزلازل العديدة قوى الألواح التكتونية قبل أن تنمو إلى المستويات العليا. وتوضح الحركات الزاحفة للصدع بالمليمترات تفرعها الجارى كل سنة فى الأرصفة والأسوار والمبانى والظواهر الأخرى. ويبدو أن الزلازل فى هذا القسم من الصدع لا تتجاوز قوتها ٦. وهذه الزلازل لا تزال مهمة، ولكنها صغيرة إذا قورنت بالأحداث التى تقع فى القطاعات المجاورة من الصدع.

والقسم من صدع سان آندرياس الواقع بين شولامى وسان بيرناردينو منطقة مغلقة أخرى يندر فيها النشاط الزلزالى (الشكلان ٤-١٢ ، و٤-١٥). وعلى أية حال، ففى يوم ٩ يناير ١٨٥٧ انطلق هذا القسم من الصدع فى نهايته الشمالية وانتشر الكسر جنوبا بشرق فى زلزال فورت تيجون الكبير بقوة ٨,٣ .

ونظـرا لتقـدم جبهـة الكسـر فى اتجـاه واحد، فقد استمرت حركة الصدع حـوالى ثلاث دقـائق. وانكسـر سطح الأرض ٣٦٠ كم (٢٢٥ مـيلا) على الأقل، وكـانت أقصى تشـققات فى سـهل كاريزو مذهلة بلغت ٩,٥ أمتار (٣١ قدما) (الشكل ٤-١٦). ومن مظاهر التشققات أن إحدى حظائر المواشى المستديرة انشقت وتحولت بفعل حركة الصدع إلى شكل S. وفى عام ١٨٥٧ كان الإقليم نادر السكان؛ ولهذا كانت الخسـائر فى الأرواح والمنشـآت ضـئيلة. وفى المرة التـاليـة حدث هـناك زلزال كـبيـر وربما كـانت الأضرار الناجمة عنه كارثية.

والقسم من صدع سان آندرياس الواقع فى أقصى الجنوب من سان بيرناردينو حتى بحر سـالتون منطقة معقدة لم يتولد فيـها فى الزمن التـاريخى زلزال كبير حقـا (الشكل ٤-١٧)؛ ففيها مناطق مقفلة.

ولكاليفورنيا تاريخ مسجل جيدا منذ حوالى ١٥٠ عاما. فكيف يمكن أن تمتد معرفتنا عن الزلازل فى عصر ما قبل التاريخ؟ فعادة ما تترك الزلازل الكبيرة بصمات لنشـاطاتها فى الرواسب. ويمكننا قراءة تاريخ الزلازل فى الرواسب باستخدام تقنيات نظرية التكتونيات الحديثة وعلم الزلازل القديمة.

ففى ديسمبر ١٩٨٨ قامت مجموعة من خبراء الجيولوجيا باستـخدام التحـاليل للزلازل القديمة للتنبؤ بـأحجـام الزلازل واحتـمـالات حدوثها فى بعض الصدوع الكبرى فى كـاليـفورنيا (الشكل ٤-٢٢). فقـرروا احـتـمـال ٣٠ ٪ لزلزال قوته ٦,٥ يحـدث فى قطاع لومـابريتا من صـدع سـان آندرياس خـلال ٣٠ عامـا. وبعد عشـرة شـهور حدثت هناك سلسلة عالمية من الزلازل قوتها ٧,١ .

وفى ١٩٩٩ قدرت جماعات العمل أن هناك احتمالا قدره ٧٠٪ لوقوع زلزال واحد قوته ٦,٧ ليضـرب إقليم خليج سان فرنسيسكو قبل عام ٢٠٣٠ واحتمال ٨٥٪ لوقوع زلزال قوته ٧ أو أكثر فى جنوبى كاليفورنيا قبل عام ٢٠٢٤.

حاشية جانبية: فكرة البناء التكتونى الجديدة وعلم الزلازل القديمة

يسير صدع سان آندرياس بميل خلال الأرض بطيات تضاغطية مسببة ارتفاع الأرض، وطيات تباعدية مسببة هبوط الأرض (الشكلان ٤-١٨ ، و٤-١٩). فالأرض الهابطة أو مناطق السدود الصدعية خلال منطقة الصدع يمكن أن تصبح بركًا تستقبل: (١) ذرات الرمال المتدحرجة من الأمطار الغزيرة، (٢) وصلصالا يترسب ببطء من الماء المستقر فى البرك، (٣) والنباتات التى عاشت وماتت ودفنت فى الصلصال والرمال. وهذه العمليات تشكل سجلا دقيقا للطبقات الرسوبية التى قد تضطرب وتتشعب بالحركات الصدعية التالية. فهذا هو سجل يمكن أن نقرأه. وعاشت الطبقات الأقدم (المدفونة فى الأعماق) مدة أطول وتشعبت بالحركات الكثيرة فى الصدوع المحدثة للزلازل (الشكل ٤-٢٠). ويتناسب مقدار تشقق الصدع تناسبًا طرديا مع قوة الزلزال؛ فكلما زادت الشقوق فى طبقات الرواسب كانت قوة الزلزال أكبر. وهذه المبادئ توحى بطريقة لتقدير الحجم التقديرى لزلازل ما قبل التاريخ. فإذا حفرت خندقا بسيطا خلال رواسب ملأت بركة صنعها الصدع، قرأت التشققات المسجلة فى الرواسب (الشكلان ٤-٢٠ ، و٤-٢١). فطبقات الرواسب على جانبى الخندق يمكن تمييزها بحفر شبكة من الخنادق المتقاطعة لتحصل على منظر ثلاثى الأبعاد لتشققات الصدوع عبر الزمان.

ويمكن الحصول على تواريخ زلازل ما قبل التاريخ بتحليل كميات من الكربون المشع فى المادة العضوية (مثل كتل الخشب والأغصان وأوراق الأشجار والفحم) الموجود فى طبقات الرواسب. فجميع مظاهر الحياة تستخدم الكربون أساسا لبناء الأجسام. ويتواجد معظم الكربون فى النظير (ك ١٢)، ولكن نسبة صغيرة من الكربون المشع (ك ١٤) ينتج فى الغلاف الجوى بقذف ذرات النيتروجين بشبه نويات من جزيئات منبعثة من الشمس. ويوجد الكربون بوفرة فى الغلاف الجوى على شكل ثانى أكسيد الكربون (ك أ ٢). وتستهلك جميع النباتات والحيوانات ثانى أكسيد الكربون من الغلاف الجوى، وجميع أخشابها وأوراقها وعظامها وأصدافها وأسنانها...إلخ مبنية جميعها نسبيا بالكربون المشع. وطالما عاش كائن حى فهو يتبادل ثانى أكسيد الكربون مع الغلاف الجوى عن طريق التمثيل الضوئى أو التنفس.

وتظل نسبة الكربون المشع فى النبات أو الحيوان مماثلة لنسبتها فى الغلاف الجوى طالما كان الكائن الحى على قيد الحياة. وعلى أية حال، عندما يموت الكائن الحى يتوقف عن سحب الكربون المشع ويخمد الكربون المشع من أنسجته فى نصف عمر مقداره ٥٧٣٠ سنة. فوجود المادة العضوية يسمح لنا بتقدير زمن الوفاة وبالتالى عمر الرواسب المحيطة به. وهكذا يتقرر العمر الفعلى لطبقات الرواسب الصدعية. وبتقدير التواريخ الحقيقية نتمكن من تقدير الفترات الزمنية لتكرار الزلازل، أى عدد السنين التى تمر بين الزلازل فى موقع معين.

والشكل (٤-٢٠) مخطط يمثل حائط أحد الخنادق المطروحة فى رواسب بركة صدعية يوضح كيف نقرر أحجام الكسور وفواصلها الزمنية. والمثال الواقعى لتكدس الرواسب فى بركة صدعية يتضح من الشكل (٤-٢١). ففى باليت كريك على طول صدع سان آندرياس، قدَّر عالم الجيولوجيا كارى سيه أن تحدث زلازل ذات تشعب أفقى قدره ٦ أمتار (٢٠ قدما) كل ١٣٢ سنة. وعلى أية حال، تحدث زلازل بهذا الحجم على فترات متقاربة تبلغ ٤٤ عاما ومتباعدة تبلغ ٣٣٠ عاما.

التنبؤ بالزلازل المتوسطة والبعيدة المدى

هل نستطيع أن نتنبأ بالزلازل ذات المعايير المتوسطة والبعيدة المدى باستخدام أسلوب علم الزلازل القديمة؟ يبدو ذلك ممكنا فى بعض الصدوع وغير ممكن فى غيرها. ويصنف عالم الجيولوجيا توماس ك.روكويل فى جامعة ولاية سان دييجو توقيتات حركات الصدوع فى ثلاث مجموعات: (١) حركات شبه منتظمة الفترات. وهذه الصدوع تحدث حركاتها الكبرى تقريبا فى فترات زمنية متساوية. وهذا النموذج المنتظم يمكن تحديده باستخدام طريقة الخندق وتواريخ الكربون المشع المستخدمة فى علم الزلازل القديمة. (٢) حركات جماعية. وهذه الصدوع لها أقسام من الصدوع المجاورة تتحرك أثناء عدة عقود، ثم تتوقف حركتها لقرن أو لألفية من السنين حتى تبدأ المجموعة التالية فى التكوين. وأفضل مثال للحركات الجماعية ما يحدث اليوم فى شمالى الأناضول فى تركيا (الشكل ٢-٣٦). (٣) حركات عشوائية. وهذه الصدوع لا يمكن التنبؤ بها؛

فليس لها نموذج محدد لحركاتها الكبرى. وربما كان صدع سان آندرياس ضمن هذه المجموعة.

زلزال الدورة الرياضية العالمية (لوما بريتا) فى عام ١٩٨٩

فى عام ١٩٨٩ عقدت الدورة الرياضية العالمية للبيسبول فى منطقة الخليج. وتقابل بطل الدورى الأمريكى فريق أوكلاند الرياضى مع بطل الدورى الوطنى فريق عمالقة سان فرنسيسكو. وتقرر أن تجرى المباراة الثالثة فى ملعب كاندل ستيك بارك فى سان فرنسيسكو حيث يحقق فريق العمالقة ميزة اللعب على أرضه مما يساعده على الفوز بالمباراة الأولى. كان ذلك فى يوم الثلاثاء ١٧ أكتوبر حيث أنهى كلا الفريقين تمريناته التى شهدها ٦٠ ألف مشجع فى أرض الملعب بالإضافة إلى حشد من ٦٠ مليون آخرين فى الولايات المتحدة وملايين غيرهم فى جميع أنحاء العالم عبر شاشات التلفاز. وفى الساعة ٥,٠٤ مساءً وقبل الوقت المحدد لبدء المباراة بفترة ٢١ دقيقة دوّت فى الجو قرقعة بعيدة وسمع صوت رعد عادى من اتجاه الجنوب الغربى هز المشجعين وأوقف تنفيذ المباراة. إذ تعرضت سان فرنسيسكو لزلزال كبير آخر، وفى هذه المرة شاهدته جموع المشاهدين فى التلفاز، وبعد الزلزال هلل جمهور سان فرنسيسكو فى كاندل ستيك بارك، بينما توجه الكثيرون من خارج الولاية نحو منازلهم.

فما سبب هذا الزلزال؟ دارت مباراة تضاغط مدتها ٨٣ سنة بين لوح المحيط الهادى ولوح أمريكا الشمالية نتج عنها شق طوله ٤٢ كم (٢٦ ميلا) فى منطقة صدع سان آندرياس. وانطلق القسم الواقع فى أقصى الجنوب من منطقة الصدع الذى تحرك فى عام ١٩٠٦ وتحرك ثانية. وكانت لهذا الزلزال فى ذلك الوقت عدة ظواهر مختلفة: (١) حدث الشق للصدع فى العمق؛ (٢) لم تحدث حركة الصدع تشققات على سطح الأرض؛ (٣) كانت هناك مكونات لحركة عمودية؛ (٤) استمر تمزق الصدع ١١ ثانية فقط، وهو زمن قصير غير عادى بالنسبة لزلزال قوته ٧,١ .

حدثت الحركة فى طية تضاغطية ذات تدرج يسارى لطيف فى منطقة صدع سان آندرياس (الشكل ٤-٢٣). ونتيجة للتضاغط الطويل المدى على هذا التدرج اليسارى ارتفعت جبال سانتاكروز. وهذه الدرجة فى صدع سان آندرياس قريبة حيث تمزق صدعا كالافيراس وهايوارد وانزلقا على الجانب الشرقى لخليج سان فرنسيسكو. ويقع المركز السطحى لزلزال ١٩٨٩ بالقرب من لوما بريتا أعلى قمم جبال سانتا كروز؛ وسرت عليها القاعدة التى تطلق اسم أهم المعالم الجغرافية بالقرب من المركز السطحى على الزلزال؛ إلا أنه ظل معروفا للكثير من الناس باسم زلزال الدورة الرياضية العالمية.

ومن الصعب أن تتحرك صدوع فى منظومة سان آندرياس حول طية درجة يسارية. فالطيات التضاغطية عادة ما تقفل؛ ولهذا، تميل الحركات هنا إلى أن تكون كبيرة وغير متكررة. وسببت هذه الدرجة اليسارية كذلك ميلا فى مستوى الصدع مقداره ٧٠ درجة إلى الجنوب الغربى (الشكل ٤-٢٤). وبدأت حركة الصدع فى عمق ١٨,٥ كم (١١,٥ ميلا) وانزلقت ٢,٣ أمتار (٧,٥ أقدام). وكان من الممكن أن تنفك هذه الحركة فى ١,٩ مترا (٦,٢ أقدام) من الحركة الأفقية (المضرب المنزلق) و١,٣ مترا (٤,٣ أمتار) من الحركة الرأسية (منزلق معكوس). واختلف الأمر، فتحرك جانب اللوح الغربى أو لوح المحيط الهادى ٦,٢ أقدام إلى الشمال الغربى، وارتفع جزء من جبال سانتا كروز ٣٦ سنتيمترا (١٤ بوصة). ورغم أن الصدع لم يشق السطح فقد كان اتساع المنطقة التى ارتفعت ٣ أميال وتعددت بها الشقوق فى المنطقة المرتفعة والممتدة. وأصبح الكثير من المناطق المشروخة مواقع للانزلاقات الأرضية.

وكانت قوة الموجة السطحية **Ms** للهزة الرئيسية ٧,١، أتبعتها عدة هزات تابعة كما هى العادة فى الزلازل الكبرى. وظلت منطقة لومابريتا منطقة هدوء نسبى للزلازل منذ حركة صدع ١٩٠٦ (الشكل ٤-٢٥)؛ وقبل ١٩٨٩ كان إقليم لوما بريتا «ثغرة زلزالية». ويوضح القطاع المقطعى (أ) فى الشكل (٤-٢٥) أن المراكز السطحية المتعددة تشير إلى أن القسم الجنوبى من صدع سان آندرياس يتحرك كثيرا مولِّدا زلازل صغيرة. ولكن إجهادات نفس اللوح التكتونى المؤثرة على منطقة الزحف تؤثر كذلك على المنطقة المقفلة أو منطقة الثغرة الزلزالية؛ فكيف تتصل المنطقة المقفلة بمنطقة الزحف؟

عن طريق حركات الصدوع الكبيرة غير المتكررة. لاحظ فى القطاع المقطعى (ب) كيف ملأت الصدمة الرئيسية والصدمات التابعة فى زلزال الدورة العالمية (لوما بريتا) الثغرة الزلزالية فى القطاع المقطعى (أ). وهذا يهيئ ميزة لطريقة الثغرة الزلزالية بصفتها أداة للتنبوء. ويوضح الشكل ٤-٢٥ كذلك ثغرة زلزالية أخرى، جنوبى سان فرنسيسكو فى المنطقة الوسطى المكتظة بالسكان (وهى منطقة البحيرات المستطيلة الموضحة فى الشكل ٤-١٤). وزادت حركة صدع ١٩٨٩ الشذوذ بمقدار ١٠٪ لزلزال كبير فى منطقة خزانات كريستال سبرينجز فى ٣٠ سنة التالية (الشكل ٤-٢٢).

وفى زلزال الدورة العالمية انشق الصدع بسرعة تزيد عن ٢ كم/ثانية فى جميع الاتجاهات فى وقت واحد، لأعلى ١٣ كم (٨ أميال) وفى كلا الاتجاهين شمالا وجنوبا لأكثر من ٢٠ كم (١٣ ميلا) لكل منهما. ويبيِّن الجدول (٣-٧) أن الزلازل ذات القوة من ٧ حتى ٧,٩ عادة تنشق فى مدة من ٢٠ حتى ٥٠ ثانية، وهذا الانتشار الدائرى فى الشق بقوة ٧,١ استغرق ١١ ثانية فقط. فإذا كان استمر من ٢٠ حتى ٣٠ ثانية المتوقعة لحدثت انهيارات كارثية فى المبانى وطريق إمباركيديرو ذى السطحين فى سان فرنسيسكو. والواقع أن الحدث خَلَّف وراءه ٦٧ قتيلا، و٣٧٥٧ جريحا وأكثر من ١٢٠٠٠ بلا مأوى وتسبب فى العديد من الانزلاقات الأرضية وعطل وسائل النقل والمرافق وسبل الاتصالات وبلغت مجموع الخسائر ٦ بليون دولار.

الزلازل لا تقتل ولكن المبانى هى التى تقتل. فى منطقة المركز السطحى تكبدت الكثير من المبانى القديمة خسائر فادحة. فقد صبت الموجات الابتدائية والموجات الثانوية القصيرة المدة جام غضبها على المبانى المنخفضة المبنية من مواد بناء صلدة. ومن أسباب الانهيار الشائعة سوء ربط المبانى بقواعدها وبناء المبانى بلا دعامات وتشييد الواجهات بقوالب الطوب، ورفع المبانى من طابقين إلى خمسة طوابق مع النقص فى حوائط الحمل الداخلية والدعامات الكافية. ومات فى سانتا كروز أربعة أشخاص ودُمِّر تقريبا المركز التجارى باسيفيك جاردن وهو المركز التاريخى القديم الوحيد فى المدينة المبنى بالأحجار وقوالب الطوب الذى احتفظ به الناس وحولوه إلى مزار سياحى.

وتسابقت الموجات الزلزالية من إقليم المركز السطحي إلى الخارج بأكثر من ٣ أميال/ثانية. وظلت بعض موجات القص الطويلة المدة قوية حتى بعد انطلاقها ١٠٠ كم (أكثر من ٦٠ ميلا). وعندما وصلت هذه الموجات الزلزالية إلى مناطق الأساسات الطينية الرخوة والحشوة الصناعية (الدَّكة) حول خليج سان فرنسيسكو زادت اهتزازاتها.

حي مارينا. وحي مارينا واحد من أجمل المناطق فى سان فرنسيسكو. ويقع على الشاطئ الشمالى للمدينة بعد المتنزهات وكوبرى البوابة الذهبية والخليج ذاته. وفى هذا الحي الراقي والغالى فى أسعاره مات خمسة مواطنين وانهارت مساكن عديدة واندلعت حرائق كثيرة تلتهم المبانى بسبب: (١) زيادة الاهتزاز، (٢) تشوه وتميع أساسات الحشوة الصناعية، (٣) البناء الهش للطابق الأرضى فى المبانى؛ وكل هذه الأسباب أدت إلى انهيار المبانى.

وشيدت الكثير من مبانى حي مارينا فوق حشوة صناعية (ردم) تكومت فوق أرض رطبة فى الخليج لتوسعة مناطق التنمية. ويا للسخرية! لقد كانت معظم الحشوة الصناعية من أنقاض مبانى سان فرنسيسكو التى دمرها زلزال ١٩٠٦. وزادت الموجات الزلزالية فى ١٩٨٩ فى هذه المنطقة ذات الحشوة الصناعية. وحدث تشوه دائم فى بعض مناطق الحشوة الصناعية والاستيطان، وتكون الطين فى البعض الآخر حين تدفقت المياه الجوفية والرواسب الحرة كالسوائل فى عملية الإماعة (الإسالة) (الشكل ٤-٢٦ أ). وتمخضت عملية الإسالة فى حي مارينا فى ١٩٨٩ عن إفراز قطع من الزجاج وورق القطران وخشب الصنوبر وأنقاض أخرى من حطام سان فرنسيسكو عام ١٩٠٦.

والسبب الرئيسى فى انهيار المبانى هو خطأ التصميم. ونظرا إلى أن حى مارينا كان مأوى لكثير من المتدفقين على المنطقة؛ فقد كانوا فى حاجة إلى مواقف لسياراتهم؛ ولكن أين؟ كانت الشوارع مكتظة ومواقف السيارات تحت الأرض وتحت مستوى سطح البحر؛ فكانت تنضح بالماء. والحل الذى شاع وانتشر كان بإزالة العوائق من الطوابق الأولى للمبانى لجعلها مواقف للسيارات. ولسوء الحظ، أدى ذلك إلى

إضعاف الطوابق الأولى. فأين حوائط الحمل الداخلية والدعامات العرضية والدعامات الرأسية اللازمة لحمل الطوابق العليا حتى الطابق الرابع؟ لقد أزيلت، أو ضحى بها المنتفعون لإفساح المجال لتوقيف سياراتهم؛ ولهذا تسطحت المباني بسهولة وأصبحت أقصر دورا (الشكل ٤-٢٦ب).

الطريق السريع بين الولايات رقم ٨٨٠

كانت أشد المآسي وطأة في زلزال الدورة الرياضية العالمية سحق ٤٢ شخصا أثناء انهيار جزء من الطريق ذي السطحين رقم ٨٨٠ الذي يربط الولايات بعضها ببعض في أوكلاند (الشكل ٤-٢٧). فالطريق المستوى صمم في عام ١٩٥١، وافتتح في ١٩٥٧، وانهار منه قطاع طوله ١,٢٥ ميلا؛ إذ سقطت ٤٤ كمرة من الخرسانة يزن كل منها ٦٠٠ طن فوق السطح السفلي؛ فحطمت بعض المركبات وضغطتها إلى ارتفاع ١ قدم. وكان القسم الذي انهار مبنيا فوق طبقة طينية رخوة حديثة الترسيب في خليج سان فرنسيسكو. وللطريق السريع المرتفع رنين طبيعي قدره من ٢ حتى ٤ دورات/ثانية؛ وتعمل أساسات الخليج الطينية على زيادة الهزة في ذلك المدى إلى ٥ حتى ٨ أضعاف. فأثرت الموجات الزلزالية في الطين فجعلت البناء الثقيل يترنح بشدة (الشكل ٤-٢٨). وكان القطاع رقم ١ من الطريق رقم ٨٨٠ مبنيا على طبقة من الرمل والحصى أكثر صلابة فظلت سليمة؛ بينما القطاع المبني على طبقة رخوة من الطين انهار انهيارا كارثيا.

وكانت الأساسات الضعيفة متواطئة مع تصميم البناء الخاطئ. فنقط الاتصال بين الكمرات الحاملة للطريق والدعامات الخرسانية لم تكن مربوطة رباطا جيدا. فبدأت تحدث الشروخ في نقط الاتصال مسببة انهياراً لأعمدة الحمل الرأسية التي انزلقت واكتسحت مناطق نقط الاتصال فسقط المستوى الأعلى من الطريق فوق مستواه الأسفل (الشكل ٤-٢٩). فهل كان انهيار هذا الجسر مفاجأة؟ لم يكن ذلك حقا. لقد تعلمنا هذه الدروس المستفادة قبل ١٨ سنة في عام ١٩٧١ من زلزال سان فيرناندو، ولكن أحدا لم يصحح مسار هذه المأساة المرتقبة.

ومن الملاحظات الهامشية الساخرة والقاتلة فى هذه الكارثة ما وقع فى نموذج الفشل؛ إذ كان هناك تأخير بين الهزة الابتدائية والانهيار النهائى، سمح بوقت قصير لبعض الناس للتفكير. فناور البعض بمركباتهم تحت العوارض الأفقية التالية لأعمدة الدعم الرأسية، وخرج البعض الآخر من سياراتهم وترجلوا تحت نفس الأعمدة ظنا منهم أنها أقوى أجزاء البناء. ويا للمأساة لقد كانت أضعف الأجزاء؛ إذ تسبب انهيارها فى أضخم الكوارث، فلم ينج منهم أحد.

زلازل منطقة الخليج - الماضى والمستقبل

والسجل التاريخى لزلازل كاليفورنيا عمره حوالى ٢٢٥ سنة، وكانت السنوات ١٥٠ الأخيرة تقريبا فقط معقولة نسبيا. وهذا السجل التاريخى أقصر من أزمنة تكرار الحركات الكبرى فى معظم الصدوع. غير أن منطقة خليج سان فرنسيسكو، كانت لديها معلومات أوفر ظهرت فى روايات الصحف واليوميات والخطابات الشخصية والمصادر المماثلة لتتضافر جميعها فى وضع سجل تاريخى دقيق إلى حد مقبول عن زلازل القرن التاسع عشر، يختلف اختلافا كبيرا عن سجل تاريخ القرن العشرين. ففى أثناء القرن التاسع عشر كانت الزلازل التى تزيد قوتها عن ٦ أكثر انتشارا (الشكل ٤-٣٠)؛ إذ وقعت سبعة زلازل فى ٧٠ سنة السابقة على زلزال سان فرنسيسكو عام ١٩٠٦، بمعدل زلزال كبير كل عقد. ثم جاءت الحركة الشيطانية لصدع سان آندرياس فى عام ١٩٠٦. وأزال الشق الذى يبلغ طوله ٢٦٥ ميلا كثيرا من إجهاد اللوح التكتونى المخزون فى الصخور بحيث خلت عدة عقود من القرن العشرين بشكل ملحوظ من الزلازل الكبيرة (الشكل ٤-٣١). ولكن الزلازل الكبيرة عادت إلى القسم الجنوبى من منطقة الخليج بدءًا من السبعينيات فى القرن العشرين (الشكل ٤-٣٢). فما هى النماذج المتكررة فى هذه البيانات؟ وهل لها أية أهمية؟

النموذج ١ : زلازل كبيرة شائعة مقابل هزات عملاقة نادرة. فحركة لوح المحيط الهادى مقابل لوح أمريكا الشمالية فى منطقة الخليج تبدو مكتفية بأحد أمرين: إما بزلزال قوته من ٦ حتى ٧ كل عقد تقريبا (القرن التاسع عشر) أو بزلزال قوته ٨ كل قرن

(القرن العشرين). فأى النماذج أفضل لهذا الإقليم ذى الكثافة العالية فى التنمية والسكان؟ (لاحظ أن لنا الخيار). وأى النماذج يسبب أقل عدد من الوفيات والخسائر والضغط النفسى؟ وهل يأتى القرن الحادى والعشرين مثل سابقيه: التاسع عشر والعشرين؟

النموذج ٢ : أزواج من الزلازل الشرقية- الغربية (الشكل ٤-٣٠): ففى عام ١٨٣٦ تعرضت أوكلاند لزلزال قوته حوالى ٦,٥ ؛ وأعقب ذلك بسنتين زلزال قوته حوالى ٦,٨ فى شبه جزيرة سان فرنسيسكو. وفى منطقة الخليج الجنوبية، حدث زلزال ضحل بالقرب من سانتا كروز فى عام ١٨٦٥ وأعقبه بثلاث سنوات زلزال قوته حوالى ٦,٩ بالقرب من هايوارد. فهل تتكرر ثانية الزلازل المزدوجة فى الخليج الشرقى والخليج الغربى؟

النموذج ٣ : تتابع الزلازل نحو الشمال: سبقت الزلازل الكبيرة التى حدثت فى عامى ١٨٦٥ و١٨٦٨ خمسة زلازل متوسطة تحركت شمالا فى صدع كالافيراس. ويوضح الشكل (٤-٣٢) أربعة زلازل من المتوسطة والكبيرة التى تحركت من الجنوب إلى الشمال فى صدع كالافيراس. فهل يوحى هذا النموذج المتكرر بقدوم زلزال كبير فى صدع هايوارد؟ فهذا الإقليم اليوم ذو كثافة سكانية عالية ومشروعات تنموية كثيرة على جانبى قمم شقوق الصدع فى القرن التاسع عشر. فإذا حدث زلزال مثل زلزال ١٨٦٨ فإن قسم المناجم والجيولوجيا فى كاليفورنيا يتوقع أن يروح ضحيته ٤٥٠٠ نسمة. ويعتمد عدد الوفيات نسبيا على الوقت من اليوم الذى يحدث فيه الزلزال. فما هو أسوء الأوقات لحدوث الزلزال؟ أثناء منتصف يوم العمل والدراسة عندما يكون أكبر عدد من الناس شاغلين المبانى القديمة والكبيرة. وما هو أنسب الأوقات لحدوث الزلزال؟ أثناء الليل عندما يكون معظم الناس فى منازلهم ونائمين فى أسرَّتهم. وعموما، تتحمل منازل كاليفورنيا هزة الزلازل جيدا.

كوبى فى اليابان فى عام ١٩٩٥ مقابل أوكلاند فى كاليفورنيا فى عام ؟؟٢٠

كوبى فى اليابان فى عام ١٩٩٥ : تضرب الزلازل اليابان كذلك بشدة ولكنها أقل قوة من أحداث الانضواء الكبرى. وأكثر الزلازل إحداثا للخسائر فى التاريخ (خسائر

فى الأموال مقدارها ١٠٠ بليون دولار) ما حدث فى الساعة ٥,٤٦ صباح يوم ١٧ يناير عندما بدأت حركة صدع نوجيما ذى المضرب المنزلق اليمينى الجانبى التمزق فى كلا الاتجاهين الشمالى الشرقى والجنوبى الغربى فى وقت واحد، مارا بمدينة كوبى (الشكل ٤-٣٣). فالكسر الذى طوله ٥٠ كم (٣٠ ميلا) استغرق ١٥ ثانية ليشقق الأرض ١,٧ مترا (٥,٦ أقدام) أفقيا ومترا واحدا (٣,٣ أقدام) رأسيا. وكانت قوة الزلزال ٦,٩ (Mw) فجعلت بعض مناطق الرواسب الرخوة فى كوبى تهتز بشدة لمدة ١٠٠ ثانية. وكوبى ميناء كبير، يعتبر ثالث الموانئ انشغالا فى العالم. ويتكدس ١٫٥ مليون مواطن فى حزام ضيق فى المدينة استصلح جزئيا من الخليج بالردم الصناعى. وهذه الرواسب الضعيفة تميعت (تسيلت) وضعفت أمام الزلزال. ورغم أن كوبى عانت من زلزال قوته ٧ فى عام ١٥٩٦ وزلزال قوته ٦,١ فى عام ١٩١٦ لأسباب غير معروفة، فلم يكن مقدرا لها أن تواجه تهديدا قويا من الزلازل.

وفى زلزال ١٩٩٥ انهارت الكثير من المبانى الخشبية القديمة ذات الأسقف من القرميد الثقيل والكمرات العرضية الصغيرة على سكانها النائمين؛ فسببت الكثير من الوفيات البالغ عددها ٦,٣٠٨ نسمة. وتسببت البيوت الخشبية المدمرة فى إشعال أكثر من ١٤٠ حريقا، ولكن لحسن الحظ كان الهواء ساكنا وساعدت قلة الرياح فى مكافحة النيران والسيطرة على الحرائق. غير أن ١٥٢٠٠٠ مبنى دمرت أو حدثت بها خسائر بفعل الزلزال وأجهزت النار على ما يعادل ٧٠ مبنى أمريكيا ضخما. وتلفت مرافق البنية التحتية بشدة مثل الطرق السريعة والسكك الحديدية ومنشآت الموانى بفعل شبكات المياه والصرف الصحى والغاز والكهرباء التى دمرت. وبالإضافة إلى ذلك استغرق وقت إعادة بناء الاقتصاد عدة سنوات، وزادت ضحايا الانتحار وجرائم الزنا وتناول المسكرات.

وشملت الأبنية المنهارة الكبارى الضخمة والطرق السريعة المعلقة وأعمدة رفع السكك الحديدية. وينهج اليابانيون فلسفة بناء الأعمدة والدعامات الضخمة لتتحمل الهزات الأرضية أسوة بأشجار البلوط (الشكل ٤-٣٤). وبعد انتشار هذه الانهيارات على نطاق واسع زادت قناعتهم اليوم بفلسفة الولايات المتحدة فى البناء عند تصميم أعمدة تتأرجح عند الاهتزاز أسوة بالقصبة.

أوكلاند فى كاليفورنيا فى ٢٠؟؟ : من المهم أن نقارن زلزال كوبى بالزلزال الناتج على القسم الشمالى من صدع أوكلاند (الشكل ٤-٣٣). فكلا الشقين يبلغ طوله حوالى ٥٠ كم ويمر خلال موانى كبرى ومناطق عمرانية كثيفة السكان بها مناطق واسعة من رواسب الخليج والردم الصناعى المدكوك والضعيف. ومن المناطق التى تأثرت كثيرا منطقة الخليج الشرقى (محافظات كونترا كوستا وآلميدا)، التى يسكنها ٢,٢٥ مليون نسمة. وتحرك صدع هايوارد فى عمق ١٣ كم بمعدل ٩ ملليمترات/سنة ولكن الشق الأخير فى الصخرة العلوية على طول هذا القسم من الصدع حدث فى عام ١٨٣٦. وتقدر نسبة احتمال حدوث زلزال قوته ٧ قبل عام ٢٠٢٠ فى هذا القسم من الصدع الذى طوله ٥٠ كم/ بنسبة ٢٨٪. أما بالنسبة لإقليم خليج سان فرنسيسكو المشترك ففرصة حدوث زلزال آخر بحجم زلزال لوما بريتا على الصدع مارا بالمنطقة السكنية قبل عام ٢٠٢٠ تبلغ ٦٧٪.

وفى القسم الشمالى من صدع هايوارد من المتوقع أن يبدأ الشق فى نهايته الشمالية ويتحرك جنوبا لمدة ٢٢ ثانية مع انزلاق مترين (٦ أقدام) ممتد لأسفل حوالى ١٣ كم (٨ أميال). والحركة التالية لصدع هايوارد مثل زلزال كوبى فى ١٩٩٥ ستؤدى إلى خسائر فى الأموال تقدر بعشرات البلايين من الدولارات ووفيات تقدر فى مجموعها بالآلاف.

كيف تعمل الصدوع

النظرية القديمة

ظل الشرح شائعا لكيفية تحرك الصدوع منذ ظهور نظرية الارتداد المرن فى أعقاب زلزال سان فرنسيسكو فى عام ١٩٠٦. وبناء على قياسات الناجين من الزلزال للأرض على طول صدع سان آندرياس، يبدو أن إجهادات الأرض تسبب تشوهها وحركة على كلا جانبى الصدع (الشكل ٤-٣٥ أ و ب). وعلى أية حال، لم تتحرك الصخور على طول الصدع ذاته استجابة للإجهاد؛ نظرا إلى أنها خشنة وغير منتظمة

مما يؤدى إلى تعشقها (تداخلها) الشديد عند الاحتكاك الأمر الذى يعوق الحركة. ولكن نظرا إلى أن الكتل اليابسة البعيدة عن الصدع تستمر فى الحركة فإن تجمع الإجهاد على طول الصدع يصبح فائق القوة بحيث يؤدى فى النهاية إلى كسر الصخور عند الصدع ويتحرك كلا الجانبين سريعا إلى الأمام ليلحق حتى ويسبق الصخور البعيدة عن الصدع (الشكل ٤-٣٥ج). وبعد حركة الصدع يزول كل الإجهاد من المنطقة ويبدأ إجهاد آخر جديد فى التجمع. وتشبه نظرية الارتداد المرن العض على شريط من المطاط أو الطرق على أوتار قيثارة: فهى تنطبق حتى على الصدمات التابعة. وظلت هذه النظرية سائدة لمدة ٩٠ سنة وورد ذكرها فى معظم الكتب. ولاتزال سارية بصفتها أول اقتراب من الحقيقة، حتى ظهرت فكرة أفضل فى السنوات القليلة الأخيرة.

الفكرة الأحدث

وأفضل تصور للحركة على طول الصدع هو نافذة الفرص. إذ تبدأ حركة الصدع فى البؤرة ثم تنتشر للخارج لمسافة معينة ووقت محدد. وتعتمد كمية الإجهاد المنطلق فى الزلزال على عدد الثوانى التى يتحركها الصدع. فمثلا، إذا كان هناك إجهاد قدره ١٢ مترا لم ينطلق على امتداد قسم من الصدع واستغرق الشق المار من المقدمة إلى النهاية وقتا كافيا لإحداث حركة مقدارها ٦ أمتار فقط، فإن نصف الإجهاد فقط هو الذى انطلق. وربما فتح الحدث المماثل بوابة مغلقة أمام طابور طويل من الناس. فإذا ظلت البوابة لفترة كافية لدخول نصف عدد الطابور ثم أغلقت، تعين على بقية الواقفين فى الطابور أن ينتظروا حتى تفتح البوابة فى وقت لاحق. وذلك هو التطوير المهم لنظرية الارتداد المرن. وتقول النظرية إنه بعد حدوث زلزال كبير يزول معظم الإجهاد عن الصخور ويلزم الأمر مرور وقت مناسب لتجميع الإجهادات حتى مستوى عال مرة ثانية. ولم نعد نعتقد فى صحة ذلك.

وهناك طريقة أخرى لتصور فكرة حركة الصدع، وذلك بتصور عملية فرد سجادة كبيرة مطوية لتغطى أرضية مسرح. وقصرت السجادة عن تغطية الأرضية حتى الحائط البعيد بمقدار قدم واحد. فلا تستطيع أن تسحب السجادة لتغطى هذا

القدم، لأن السجادة لن تتحرك نظرا لشدة الاحتكاك. وعلى أية حال، إذا جعلت السجادة تتموج موجة كبيرة ودفعت هذه الموجة فوق سطح الأرضية استطعت أن تدفع السجادة إلى الحائط البعيد. ويمكن للصدوع أن تسلك نفس المنهج. فربما انزلق جزء بسيط من الصدع مشكلا موجة تركز طاقة مرنة فى طرفها المتقدم. وكلما مرت الموجة أبعد كان الزلزال أكبر. وربما تواجه الموجة المتحركة مقادير مختلفة من الإجهاد الذى لم ينطلق فى مختلف مناطق الصدع.

لاندرز فى كاليفورنيا، فى ١٩٩٢

ويزودنا زلزال لاندرز فى عام ١٩٩٢ بتأمل جديد فى كيفية عمل الصدوع. بدأت سلسلة هذا الزلزال فى ٢٢ أبريل بالحركة اليمينية الجانبية لزلزال جوشوا تظهر بقوة ٦,١ (الشكل ٤-٣٦). واستؤنفت الحركات اليمينية الجانبية للصدع بعد شهرين فى الساعة ٤,٥٨ من صباح يوم ٢٨ يونيو بزلزال لاندرز بقوة ٧,٥ . وتشير التحاليل التفصيلية للسجلات الزلزالية إلى أن الصدع لم يتحرك بأكمله فى نفس الوقت؛ وبدلا من ذلك انزلقت قطع صغيرة شمالا على شكل جبهة أو نبضة. وفى موقع واحد محدد استغرق انزلاق الصدع حوالى ٠,٢ حتى ٠,٣ ثانية؛ ولكن حركة الصدع الإجمالية كانت مدتها ٢٣ ثانية. وتحركت جبهة الكسر من الجنوب إلى الشمال بسرعة ٢,٥ كم/ثانية (٥٦٠٠ ميل/ساعة).

وهناك دروس جديدة أو جيدة بصفة خاصة تعلمناها من زلزال لاندرز. (١) اختلف مقدار الانزلاق على طول الصدوع وتراوح بين القطع الصغيرة التى تحركت بضع سنتيمترات فقط والمناطق الأخرى التى انزلق فيها الصدع عدة أمتار. (٢) ظهر أن الزلزال فجر زلازل أخرى بعيدا فى شمالى نيفادا وفى شمالى كاليفورنيا ويوتاه وييللو ستون بارك فى يومينج. (٣) ينظر الناس عادة إلى حركات الصدع على أنها قاصرة على صدع واحد وبحركة تتوقف عند طيات كبيرة (درجات). وعلى أية حال، ففى هذه السلسلة من الكسور بدأت الحركة عندما تمزق الصدع شمالا حوالى ٢٠ كم (١٢ ميلا)، ثم قفزت مقدمة الكسر على التوالى شرقا على الصدوع المجاورة واستمرت

تتحرك ٥٠ كم (٣٠ ميلا) أخرى حتى توقفت فى منتصف آخر الصدوع المتأثرة. ولحسن الحظ بالنسبة لمدينة لوس آنجلوس الضخمة أن تنطلق أقوى الموجات الزلزالية من أبعد الصدوع، فينطلق أكبر قدر من الطاقة الزلزالية شمالا نحو الصحراء النادرة السكان.

وبعد بضع ساعات انطلق زلزال ثالث متأثرا بالزلزالين السابقين. وفى الساعة ٨,٠٤ من صباح يوم ٢٨ يونيو جاء زلزال الدب الأكبر بقوة ٦,٦ من حركة يسارية جانبية امتد تمزقها شمالا نحو مركز تمزق الأرض فى لاندرز. وتشكل الكسور فى زلازل يوم ٢٨ يونية مثلثا مع صدع سان آندرياس كقاعدة له (الشكل ٤-٣٦). وعملت حركات الصدوع هذه على سحب مثلث من القشرة بعيدا عن صدع سان آندرياس، وبذلك تقلل من الضغوط التى تجعل صدع سان آندرياس متماسكا وتمنعه من الانزلاق.

صدع جنوبى سان آندرياس

هل يوشك زلزال كبير على الحدوث فى صدع جنوبى سان آندرياس؟ حدثت زلازل عام ١٩٩٢ بالقرب من الجافة الشمالية لقسم وادى كوتشيللا من صدع سان آندرياس. ففى عام ١٩٨٨ كانت نسبة احتمال حدوث زلزال فى هذا القسم من الصدع قوته ٧,٥ قبل عام ٢٠١٨ تقدر ٤٠٪ (الشكل ٤-٢٢). فهل زادت نسبة الاحتمال هذه بفعل زلازل عام ١٩٩٢؟ نعم.

وتشير التحاليل التكتونية الحديثة إلى أن الزلازل الأربعة الكبرى الأخيرة فى قطاع وادى كوتشيللا حدثت بفاصل زمنى قدره ٢٥٠ عاما؛ كان أحدثها فى عام ١٦٨٠ تقريبا أى منذ حوالى ٣٢٠ سنة. ومنذ عام ١٩٨٦ حدثت ستة زلازل كبرى على كلا طرفى هذا القطاع من الصدع (الشكل ٤-٣٦). وهو مشابه للنموذج الذى حدث فى شمالى كاليفورنيا قبل زلزال سان فرنسيسكو الكبير فى ١٩٠٦.

فماذا يحدث لو أن الحركة المرتقبة فى قطاع وادى كوتشيللا لم تكن زلزالا قوته ٧,٥ يقف عند طيته الشمالية (الشكل ٤-٣٦)؟ وماذا يحدث لو أنه فجر حركة قطاع

جبال سان بيرناردينو؟ فالقوة الموحدة كانت تبلغ حينئذ حوالى ٧,٨ وكسر الصدع كان يمر خلال مناطق كثيفة السكان مثل سان بيرناردينو. وماذا كان يحدث لو أن الحركة استمرت شمالا وانكسر بالتالى قطاع موجافى؟ كانت القوة الموحدة للزلزال تتجاوز حينئذ ٨.

فهل هذا التوقع المذكور أعلاه معقول أم أنه مجرد حدث يبث الرعب؟ وقطاع وادى كوتشيللا الذى انكسر مؤخرا فى عام ١٦٨٠ تقريبا له زمن تكرار يبلغ حوالى ٢٥٠ عاما وتراكم فيه ٦ أمتار من الإجهاد الذى لم ينطلق. وقطاع جبال سان بيرناردينو الذى انكسر مؤخرا فى عام ١٨١٢ له ٤,٣ أمتار على الأقل من الإجهاد الذى لم ينطلق. وقطاع موجافى الذى انكسر مؤخرا فى عام ١٨٥٧ له زمن تكرار يبلغ حوالى ١٣٠ عاما وله على الأقل ٤,٧ أمتار من الإجهاد الذى لم ينطلق. والكسر فى كل هذه القطاعات الثلاثة فى زلزال واحد افتراض مقبول عقلا. وصدع سان آندرياس فى شمالى كاليفورنيا انكسر فى ثلاثة قطاعات متماثلة فى زلزال سان فرنسيسكو عام ١٩٠٦.

حاشية جانبية: التنبؤ بالزلازل القصيرة المدى

معلوماتنا عن الزلازل مثيرة للدهشة تماما. فبالألواح التكتونية نستطيع أن نعرف لماذا وأين تقع وخاصة على طول حواف الألواح. وبتحليل النظرية التكتونية الحديثة نستطيع أن نعرف حجم وعدد الزلازل التى تحدث فى أى صدع. وعلى أية حال، لا يقتنع كثير من الناس بذلك، بل يريدون تطبيق نفس نماذج التنبؤ القصير المدى بالزلازل مماثلا للتنبؤ اليومى بأحوال الطقس. وكم نحن قريبون من إعطاء التنبؤ القصير المدى بالزلازل؟ ولسنا وثيقى الصلة بنظرية قابلة للتطبيق؛ كما أنه يبدو أن الطبيعة التفصيلية لظواهر الصدوع ليست قابلة للتنبؤ بها بما يسمح لنا بالتنبؤ بالزلازل على المدى القريب. وهناك نظريات للتنبؤ بالزلازل تبدو منطقية؛ ولا تزال تتداولها الكتب والبحوث، ولكن ثبت أنها جميعا خاطئة. فالعلم عملية تتطلب براعة فائقة. وربما لم تحظ الأفكار الجميلة بمادة تشكلها. وربما لم تحظ النظريات بصلاحية التطبيق. فالحقيقة سراب خادع.

وجمهور الناس الشغوفين بالتنبؤ القصير المدى بالزلازل يشتمل على كثير من السذَّج. ففي عام ١٩٧٧ قال تشارلز ريختر: «إن رجال الصحافة وعامة الناس يندفعون وراء أية فكرة تتنبأ بالزلازل اندفاع الخنازير إلى حوض ملآن.. فالتنبؤ أرض خصبة للهواة والنزقين والدجالين الساعين بدون تحفظ إلى الشهرة». وقد يتعلق الراغبون فى التنبؤ بحبل واه. **المثال الأول**: كثير من الدعاية المثيرة المبالغ فيها التى شاعت حول أشعار التنبؤ التى نشرها الدكتور الفرنسى ميشيل دى نوتردام (نوستراداموس) والعبارات الغامضة المفاهيم التى صاغها يصدقها بعض الناس اليوم فى التنبؤ بالزلازل فى هذه الأيام. وعلى قدر ما فيها من فظاعة تبدو نبوءات بالحقائق لذوى العقول المضطربة الذين لا يستطيعون تمييز الحقيقة من الخيال.

والمثال الثانى: فى باكورة العقد التاسع من القرن العشرين حدث زلزال توقعه رجل اقتصاد يدعى ابن براونينج وهو يحتضر إذ قرر أن يملأ آخر أيامه بالإثارة الشخصية عندما تنبأ بزلزال كبير يقع فى وسط الولايات المتحدة مشابها للزلازل التى وقعت فى عامى ١٨١١ و١٨١٢ (انظر الفصل الخامس). وتبين للعلماء أن تنبؤاته مبنية على نظرية قديمة فاشلة؛ ولكن إحدى الصحف غير المشهورة ووسائل الإعلام الإلكترونية أقامت حفلا ساهرا للتغطية العاطفية أمام حشد من أطقم التلفاز ومراسلى الصحف الذين توافدوا على نيومدريد فى ميسورى يتوقعون بشغف وقوع الزلزال الذى لن يحدث.

والمثال الثالث: خرجت طليعة مزيفة وكأنها تعزف لحنا على البوق عندما تنبأت هيئة المساحة الجيولوجية فى الولايات المتحدة بوقوع زلزال قوته ٦ فى صدع سان آندرياس بمنطقة باركفيلد (انظر الشكل ٤-١٢ منتصف يسار الصفحة اليمنى) بناء على النموذج التاريخى لظاهرة الزلازل. ووقعت فى باركفيلد ٦ زلازل تتراوح قوتها من ٥,٥ حتى ٦ فى الفترة التاريخية - فى ١٨٥٧ و١٨٨١ و١٩٠١ و١٩٢٢ و١٩٣٤ و١٩٦٦. وباستثناء زلزال ١٩٣٤ يبدو أن هناك نموذجا لزلزال يقع كل ٢٢ سنة. وتوقع علماء هيئة المساحة الجيولوجية فى الولايات المتحدة أن يحدث الزلزال التالى فى عام ١٩٨٨ بإضافة أو بإنقاص خمس سنوات. وعلى ذلك أدت تجربة التنبؤ بزلزال فى باركفيلد إلى نشر شبكة لم يسبق لها مثيل من الأجهزة فى الميدان مدعومة بجماعات

كبيرة من العلماء الجاهزين لتفسير جميع تفاصيل الزلزال المرتقب فى يناير ١٩٩٣. ثم وقعت الواقعة - فحدث الزلزال كما كان متوقعا.

فما هو مفهومنا الحالى لإمكانية توقع حركات فى الصدوع؟ أولا، ليس هناك سبب يبرر لماذا تحدث عملية كسر الصدع بأى نظام. وثانيا، رغم أن النظر إلى الإنذارات بالزلازل ليس ميئوسا منه، فإن الأمر يتعلق بإثارة الزلازل أكثر من التفسير البسيط للتحميل المنتظم للإجهادات على الصدوع التى تتمزق على شكل زلازل ذات خصائص معينة ومتساوية البعد الزمنى بينها. والقول الفصل لكل شخص هو أن التنبؤ بالزلازل على المدى القصير ليس واردا؛ فلتمض فى تخطيط حياتك على هذا الأساس. فلتنظم بيتك ومكتبك لتتحمل أقوى الزلازل احتمالا فى منطقتك، ثم لا تشغل ذهنك بمتى يقع الزلزال.

زلازل صدع الدَّسْر فى جنوبى كاليفورنيا

والمنطقة ذات الصدوع الخطيرة فى جنوبى كاليفورنيا أوسع من منطقة خليج سان فرنسيسكو (الشكل ٤-١٢)؛ وهذا يرجع فى الغالب الأعم إلى أن الصدع الكبير المحدد للوح (سان آندرياس) مطوى (متدرج) إلى الغرب، ويجعل من الصعب على لوح المحيط الهادى أن ينزلق مقابله فى حركته نحو الشمال الغربى. وتسبب التقلص فى «الثنية الكبرى» إلى التمزق الطولى فى شرائح، انشقت جنوبى كاليفورنيا إلى شبكة معقدة من الصدوع. وتتجه الكثير من هذه الصدوع شمالا بغرب بتفريعات يمينية جانبية معبرة عن اتجاه حركة لوح المحيط الهادى.

هذا بالإضافة إلى أن هناك فئة من الصدوع النشيطة تكونت فى جنوبى كاليفورنيا ضاغطة على «الثنية الكبرى» فى صدع سان آندرياس. ومعظم هذه الصدوع صدوع دسرية(*)

(*) صدع الدَّسْر thrust fault صدع ذو زاوية ميل صغيرة ينشأ من الضغط الشديد الذى يؤدى إلى تحرك علوى للجدار المعلق بالنسبة للجدار السفلى. (**معجم الجيولوجيا** - المترجم)

متجهة شرقا وغربا (صدوع معكوسة)(*) حيث تتحرك ألواح الصخر الأفقية (الجدار العلوى) فوق أسطح الصدوع المائلة وبهذا تضيق الوديان وترتفع الجبال. ونظرا إلى أن كثيرا من هذه الصدوع الدسرية لا تصل إلى سطح الأرض، فهى تسمى بصدوع الدسر الخفية(**). وتبلغنا قياسات الأقمار الصناعية لحركات الأرض باستخدام نظام التطابق الكونى أن إقليم لوس آنجلوس يحدث فيه ضمور تضاغطى قدره من ١٠ حتى ١٥ مم/سنة. ويمكن للتشوه المقاس أن يحدث زلزالا متوسط قوته ٦ كل ٦سنوات بالإضافة إلى زلزال قوته ٧ كل ١٠ سنوات.

نورثريدج فى كاليفورنيا فى عام ١٩٩٤

كان يوم الإثنين الموافق ١٧ يناير عام ١٩٩٤ عطلة بمناسبة ذكرى ميلاد مارتين لوثر كينج الابن. ولكن فى الساعة ٤,٣١ صباحا عصف زلزال قوته ٦,٧ (M_W) بأحلام معظم سكان منطقة لوس آنجلوس البالغ عددهم ١٢ مليون نسمة. وتمزق واحد من صدوع الدسر المتعددة التى تقع تحت وادى سان فيرناندو وهو صدع بيكو الخفى على عمق ١٩ كم (١١,٨ ميلا) وتحرك ٣,٥ أمتار شمالا عندما كان يدفع إلى أعلى سطح الصدع المائل إلى الجنوب (الشكل ٤-٣٧). وتعرضت نورثريدج ومدن أخرى تقع فوق لوح الصدع الذى يتحرك إلى أعلى (الجدار العلوى) لبعض الهزات الأرضية التى لم يسجل أشد منها حتى الآن. فزاد التسارع الأرضى حتى بلغ ١,٨ جاذبية (١٨٠٪ من الجاذبية) أفقيا، و١,٢ جاذبية رأسيا. (وعندما يبلغ التسارع الرأسى ١,٠ج تندفع إلى أعلى الأشياء الموضوعة على الأرض بدون رباط) وتسببت شدة هذه الهزة فى انهيار واسع النطاق فى المبانى والكبارى (الشكل ٤-٣٨)، وقتل فيها ٦١ شخصا وأصيب أكثر من ٩٠٠٠ جريح وبلغت الخسائر المادية ٢٠ مليار دولار. وشملت الخسائر تعطل

(*) صدع معكوس reverse fault صدع يميل فيه سطح الصدع نحو جانب المرمى العلوى وينتج من الضغط. (**معجم الجيولوجيا**- المترجم)

(**) صدوع الدسر الخفية blind thrusts صدوع لا تصل إلى السطح. (المترجم)

أعظم شبكة طرق عالمية وتسببت فى العديد من المشكلات للسائقين (الشكل ٤-٣٩). وفى مجال الوفيات يعتبر الزلزال خفيف الوطأة نظرا لحدوثه فى الصباح الباكر؛ وتشير التحاليل للمبانى المنهارة إلى أن الخسائر فى الأرواح كانت تقدر بحوالى ٣,٠٠٠ نسمة لو حدثت الهزة أثناء ساعات العمل.

كان زلزال نورثريدج فى ١٩٩٤ مشابها لزلزال سان فيرناندو فى ١٩٧١ الذى كانت قوته ٦,٥ وراح ضحيته ٦٧شخصا (انظر الفصل الثالث). ففى ١٩٧١ كانت الحركة فوق صدع دسرى يميل شمالا ويرتكز على صدع خفى تحرك فى ١٩٩٤ (الشكل ٤-٣٧).

وتوحى القياسات لتشوه الأرض فى إقليم لوس آنجلوس المقدَّرة بالأقمار الصناعية أثناء القرن العشرين كانت تقع بالمنطقة زلازل بقوة ٦ بنصف المعدل المرتقب فقط وزلازل بقوة ٧ بثلث نموذج المدى الطويل. وربما كانت زلازل ١٩٧١ و١٩٩٤ نذيرا بالمزيد من الزلازل النشيطة فى القرن الحادى والعشرين. وتزيد حوادث الوفيات والدمار التى وقعت فى عدة زلازل قوتها من ٥ر٦ حتى ٧ فى مدينة لوس آنجلوس عن المشكلات التى أحدثتها زلازل قوتها ٨ أو أكثر على صدع سان آندرياس على بعد من ٥٠ حتى ١٠٠ كم. وعلى أية حال، ظل ٣ مليون نسمة فى منطقة سان بيرناردينو يذكرون بالاهتمام الشديد أحداث زلزال وقع فى منطقتهم قوته ٨ أو أكثر بسبب المرور المباشر لصدع سان آندرياس خلال أسوار منازلهم.

الزلزال الشديد

كثيرا ما نسمع حديثا عن الزلزال الكبير عند ذكر مخاطر زلازل كاليفورنيا. فما عساها أن تكون هوية الزلزال الكبير؟ من الممكن أن يكون أحدث من الوفيات والخسائر أكثر مما يتوقع الكثيرون. وتركز التقديرات لمخاطر الزلازل فى لوس آنجلوس تماما على نظامين منفصلين من الصدوع. (١) صدع سان آندرياس المار على طول الجانبين الشرقى والشمالى للمدينة الضخمة، حيث وقعت فيها أخيرا حركات كبرى،

فى عامى ١٨١٢ و١٨٥٧ (الشكل ٤-٤٠ أ). (٢) صدوع الدسر المتجهة شرقا وغربا التى سببت زلازل سان فيرناندو فى ١٩٧١ ونورثريدج فى ١٩٩٤. والمقارنة الواقعية بزلزال منغوليا توضح لنا أسوأ الأحوال المتوقعة الحدوث فى لوس آنجلوس. ففى منغوليا عام ١٩٥٧ تحرك صدع مضرب منزلق كبير مطلقا طاقة قوتها ٨ فى الوقت الذى تحركت فيه مجموعة صدوع دسرية بأحداث قوتها ٧ (الشكل ٤-٤٠ ب). ونظرا للتشابه فى حساب المثلثات فى أنظمة الصدع بين منغوليا ولوس آنجلوس، فمن المناسب أن نتصور الزلزال الكبير على أنه يماثل زلازل ١٨٥٧ و١٩٧١ و١٩٩٤ التى حدثت فى وقت واحد. ويحار العقل عند تصور الخسائر المتعلقة بالزلزال الكبير.

موجز

ترجع أسباب تكرار معظم الزلازل فى غربى أمريكا الشمالية إلى الألواح التكتونية. فلوح أمريكا الشمالية المتحرك غربا ركب مركز انتشار المحيط الهادى على طول معظم كاليفورنيا. والانتشار المستمر إلى الجنوب فصل باجا كاليفورنيا عن اليابسة فى المكسيك، حتى صارت باجا كاليفورنيا وسان دييجو ولوس آنجلوس وسانتا كروز الآن راكبة فوق لوح المحيط الهادى ومتحركة نحو آلاسكا بسرعة ٥,٦ سم/سنة. ولا يزال الانتشار يحدث إلى الشمال قبالة الساحل من أقصى شمالى كاليفورنيا وأوريجون وواشنطن وجنوبى بريتيش كولومبيا. واتصل مركزا الانتشار المنفصلان بصدع تحويلى طويل - صدع سان آندرياس. وتشمل زلازله زلزالا قوته ٨,٣ سببه شق طوله ٢٢٥ ميلا فى وسط كاليفورنيا فى عام ١٨٥٧ وآخر قوته ٨ بسبب شق طوله ٢٦٥ ميلا يمر خلال إقليم خليج سان فرنسيسكو فى عام ١٩٠٦ وغيره قوته ٧,١ انطلق من شق طوله ٢٥ ميلا بالقرب من سانتاكروز فى عام ١٩٨٩.

ويرجع السبب فى أكبر الزلازل التى وقعت على طول غربى أمريكا الشمالية إلى الانضواء تحت القارة. فزلزال آلاسكا ذو القوة ٩,٢ الواقع فى عام ١٩٦٤ حدث بسبب انضواء لوح المحيط الهادى وزلزال مكسيكو سيتى ذو القوة ٨,١

الواقع فى عام ١٩٨٥ حدث بسبب انضواء لوح كوكاس. وأحدثت الألواح المنضوية تحت أوريجون وواشنطون زلزالا قوته ٩ في يوم ٢٦ يناير ١٧٠٠ وسيحدث ذلك ثانية فى المستقبل.

وترجع أسباب معظم الخسائر فى الأرواح والأموال إلى مشكلات فى البناء. ففى سان فرنسيسكو فى عام ١٩٠٦ انهارت المبانى الضعيفة البناء غير المدعمة وخاصة ما بنى منها فوق أساسات من الدكة الصناعية. وحدثت أعظم الخسائر من حرائق استمرت يومين ونصف مشتعلة دون تدخل من رجال الإطفاء الذين عجزوا عن مكافحة الحرائق بسبب الزلزال الذى حطم أنابيب المياه المدفونة تحت الأرض. وفى مكسيكو سيتى فى عام ١٩٨٥ أدت موجات القص فى مدة ١-٢ ثانية إلى اهتزاز الرواسب الطينية الراكدة فى قاع البحيرة القديمة واهتزاز المبانى ذات ٦ حتى ١٦ طابقا بنفس معدل التردد ١-٢ ثانية. وأدى رنين الموجات الزلزالية والأساسات المكونة من الرواسب الطينية والمبانى العالية إلى حدوث عدد من الانهيارات الكارثية.

وربما أمكن تفسير ظاهرة الزلازل فيما قبل التاريخ باستخدام رواسب البرك التى تكونت فى الصدوع. فمقدار التشققات فى طبقات الرواسب يتناسب طرديا مع قوة الزلزال. ويمكن تحديد تواريخ المادة العضوية فى الطبقات الرسوبية بقياس كمية الكربون المشع الباقى. وقد استخدمت هذه التقنيات فى التنبؤ بنسبة احتمال ٣٠٪ لحدوث زلزال قوته ٦,٥ فى منطقة لومًا بريتا فى عام ٢٠١٨. وفى عام ١٩٨٩ حدث زلزال قوته ٧,١ .

وتنوعت أعداد وأحجام الزلازل فى إقليم خليج سان فرنسيسكو. ففى القرن التاسع عشر وقعت زلازل قوتها من ٦,٥ حتى ٧ بمعدل زلزال كل عقد؛ وفى القرن العشرين ذاع صيت زلزال قوته ٨ فى عام ١٩٠٦. وهناك نموذج آخر زاوج الزلازل على الجانبين الغربى والشرقى للخليج مثلما حدث بين عامى ١٨٣٦-١٨٣٨ وبين عامى ١٨٦٥-١٨٦٨.

ولم يكن لجنوبى كاليفورنيا نصيب متوقع من الزلازل الكبيرة. فالقطاع الجنوبى من صدع سان آندرياس هو الوحيد الذى لم يقع به كسر طويل فى الزمن التاريخى.

وفى زمن ما قبل التاريخ، كان ينشق كل ٢٥٠ سنة فى المتوسط، ولكن أكبر حركة حدثت مؤخرا كانت فى عام ١٦٨٠.

وأحدثت الدرجة اليسارية الكبيرة فى صدع سان آندرياس فى منطقة لوس آنجلوس كسورا تضاغطية على طول صدوع الدسر المتجهة شرقا وغربا مثل كسر سان فيرناندو فى ١٩٧١ وكسر نورثريدج فى ١٩٩٤. وهذا النمط من الزلازل سوف يستمر حدوثه.

مصطلحات للمذاكرة

صدع دَسْر خفى لا يصل إلى السطح	blind thrust
فحم	coal
احتكاك	friction
نظام التطابق الكونى	global positioning system (GPS)
تميع - إسالة	liquifaction
الألواح التكتونية الحديثة	neotectonics
علم الزلازل القديمة	paleoseismology
التمثيل الضوئى	photosynthesis
طين - ردغ	slurry
صدع دسر	thrust fault

أسئلة للمراجعة

١ - ارسم مخططا لخريطة الألواح التكتونية على طول الساحل الغربى لأمريكا الشمالية من آلاسكا حتى المكسيك. وضع أسماء مراكز الانتشار ونطاقات الانضواء والصدوع التحويلية. وضع أسماء أكثر الزلازل احتمالا للحدوث على طول المنطقة الساحلية.

٢ - إذا استمرت معدلات انتشار قاع البحر الحالية. فماذا يمكن أن يحدث لباجا كاليفورنيا وسان دييجو ولوس آنجلوس وسانتا كروز؟

٣ - أى قسم من الولايات المتحدة يقع فى عرض حوض المحيط؟ قيِّم تهديد الزلازل هناك.

٤ - ارسم مخططا واشرح نظرية الارتداد المرن فى الصدع. وكيف تم تعديل هذه النظرية فى السنوات الأخيرة.

٥ - ما هو طول الشقوق السطحية فى زلزال سان فرنسيسكو فى ١٩٠٦ وزلزال فورت تيجون فى ١٨٥٧؟ وما هى أقصى تشققات للسطح أثناء كل زلزال؟

٦ - قيِّم مخاطر الزلزال فى القطاعات المقفلة من الصدع مقابل القطاعات الزاحفة منه.

٧ - قيِّم الثغرة الزلزالية فى صدع سان آندرياس جنوبى سان فرنسيسكو.

٨ - ارسم قطاعا مقطعيا واشرح كيف يمكن استخدام رواسب برك الصدوع فى التعرف على قوة وتكرار الزلازل القديمة.

٩ - ما هى العناصر التى تتضافر لتسبب الرنين فى مكسيكو سيتى الذى كان فتاكا فى زلزال عام ١٩٨٥؟

١٠- ارسم مخططا لحى مارينا (سان فرنسيسكو) السكنى واشرح لماذا انهار كثير من المبانى فيه أثناء زلزال لوما بريتا فى عام ١٩٨٩.

١١- ارسم قطاعا مقطعيا لصدع دسر خفى مثل ذلك الذى ألحق أضرارا بنورثريدج فى عام ١٩٩٤. ولماذا كانت الهزة الأرضية فى ذلك الزلزال بهذه الشدة؟

١٢- ما هى فى العادة أسوأ الأوقات فى اليوم يضرب فيها زلزال كبير مدينة فى غربى الولايات المتحدة؟

أسئلة لمزيد من التأمل

١ - ما يقال له العنصر النفسى شاع استخدامه فى وسائل الإعلام عن توقع انفصال كاليفورنيا على طول صدع سان آندرياس وغرقها تحت البحر. فهل هذا يمكن أن يحدث؟ ولماذا لا يحدث؟

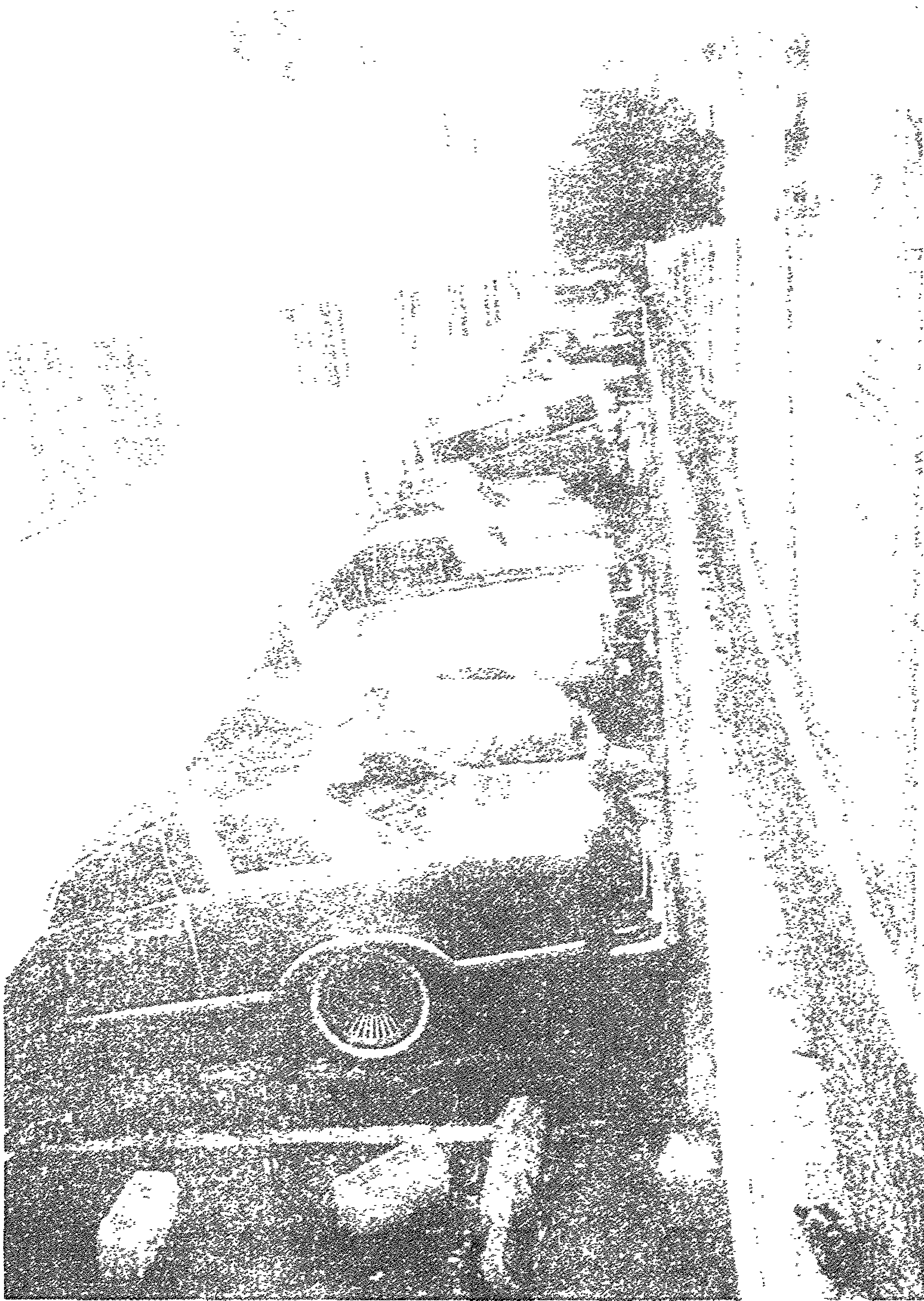
٢ - أى ولايات من الولايات المتحدة تقع على لوح المحيط الهادى؟

٣ - أى خيار أفضل للمنطقة السكنية: زلزال قوته من ٥ر٦ حتى ٧ كل ١٥ سنة أم زلزال قوته ٨ كل قرن؟

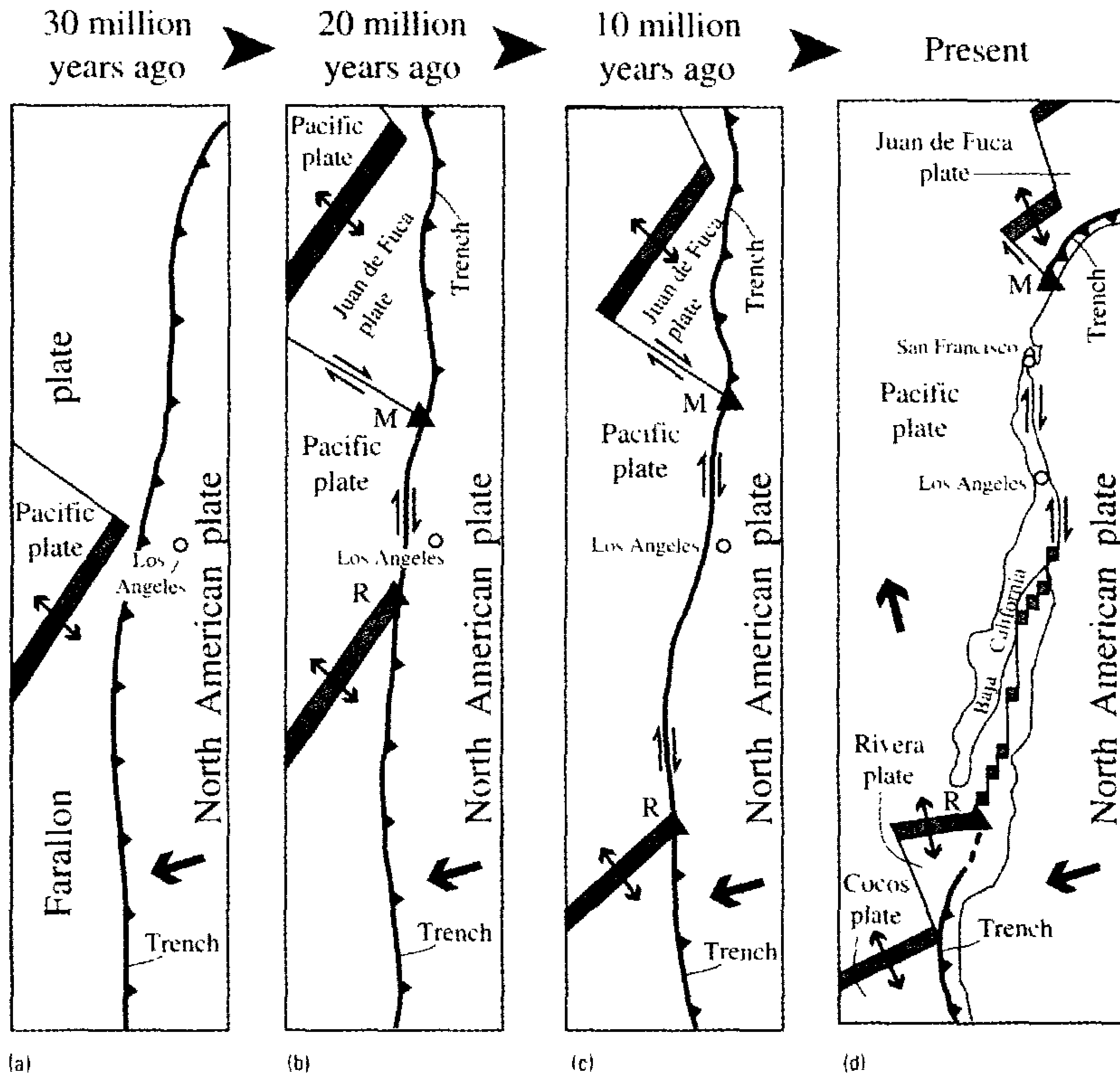
٤ - لماذا يزيد اتساع منطقة الصدوع النشيطة فى جنوبى كاليفورنيا أكثر من شماليها؟

٥ - إذا حدث زلزال قوته ٩ فى نطاق الانضواء فى كاسكاديا قبالة الساحل الشمالى الغربى للمحيط الهادى، فماذا يحدث فى سييتل وبورتلاند ومواقع ساحلية أخرى؟

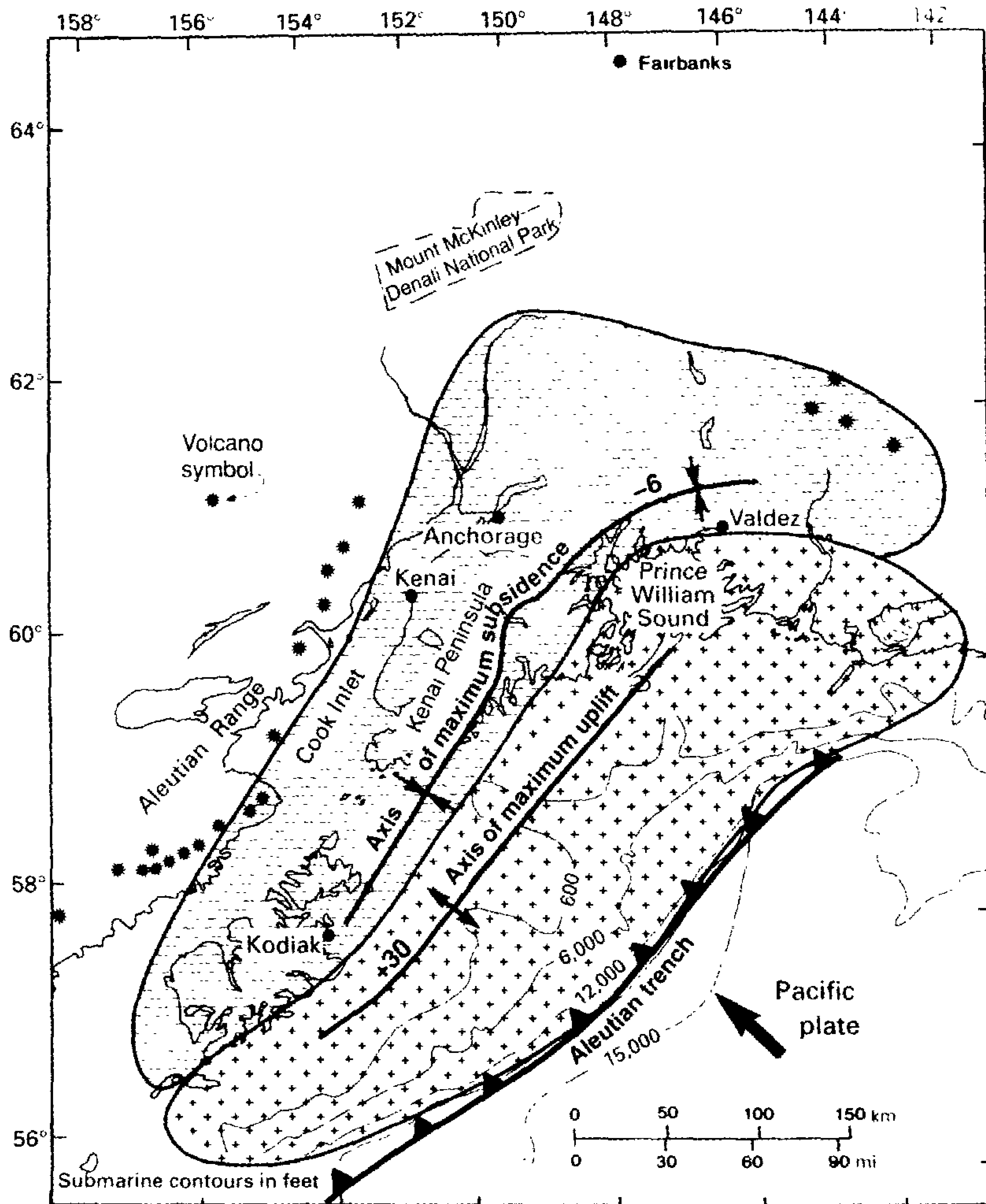
أشكال الفصل الرابع



الشكل (٤-١) مبنى سكنى منهار فى كانوجا بارك فى كاليفورنيا فى يوم ١٧ يناير عام ١٩٩٤.
تداعى المبنى جانبيا فوق السيارات الواقفة فى ساحة الانتظار.



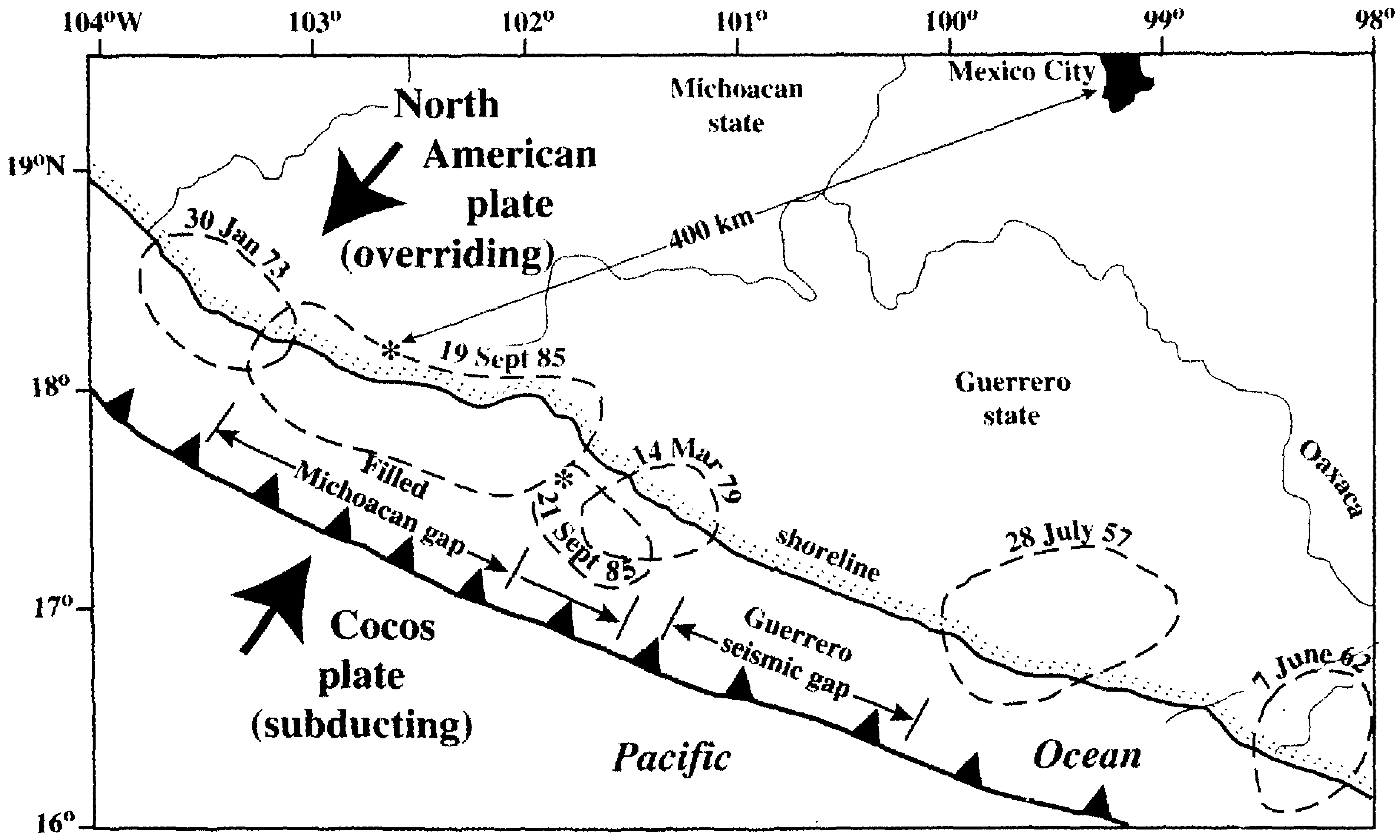
الشكل (٤-٢) تصادم مركز انتشار حوض المحيط الهادى بلوح أمريكا الشمالية: (أ) **منذ ٣٠ مليون سنة** - يقترب قطاع مركز الانتشار الأول من جنوبى كاليفورنيا، (ب) **منذ ٢٠ مليون سنة**- الصدع التحويلى المتنامى يتصل بمراكز الانتشار الباقية، (جـ) **منذ ١٠ ملايين سنة** - تستمر نقط التلاقى الثلاثية فى مندوسينو **(M)** وريفيرا **(R)** فى التحرك شمالا وجنوبا على التوالى، (د) **الوقت الحالى**- يعرف الصدع التحويلى الطويل الآن بصدع سان آندرياس. وهذه التفسيرات مبنية على دراسات تانيا آتووتر.



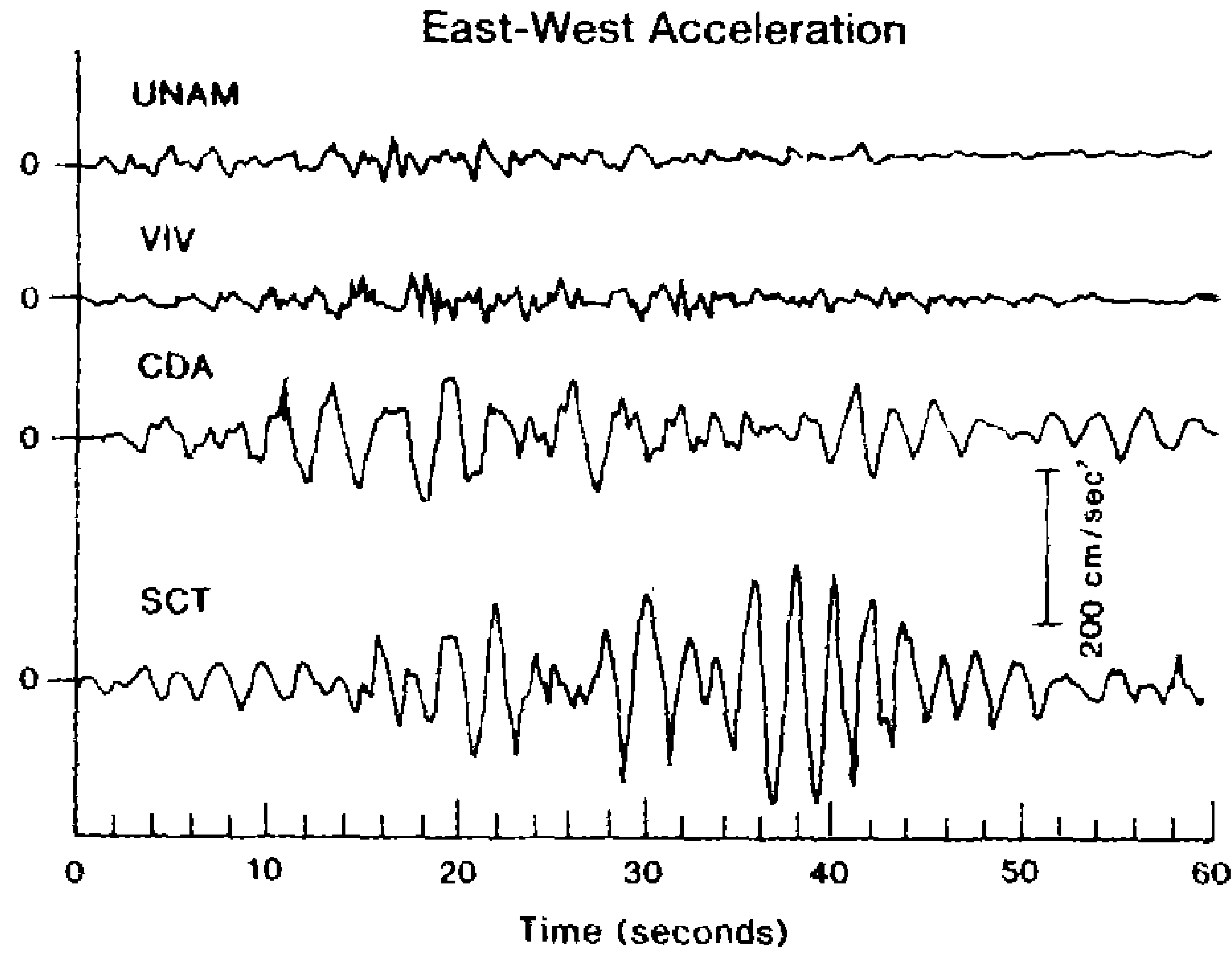
الشكل (٤-٣) خريطة توضح الأرض التى ارتفعت والأرض التى هبطت أثناء زلزال آلاسكا فى ١٩٦٤.



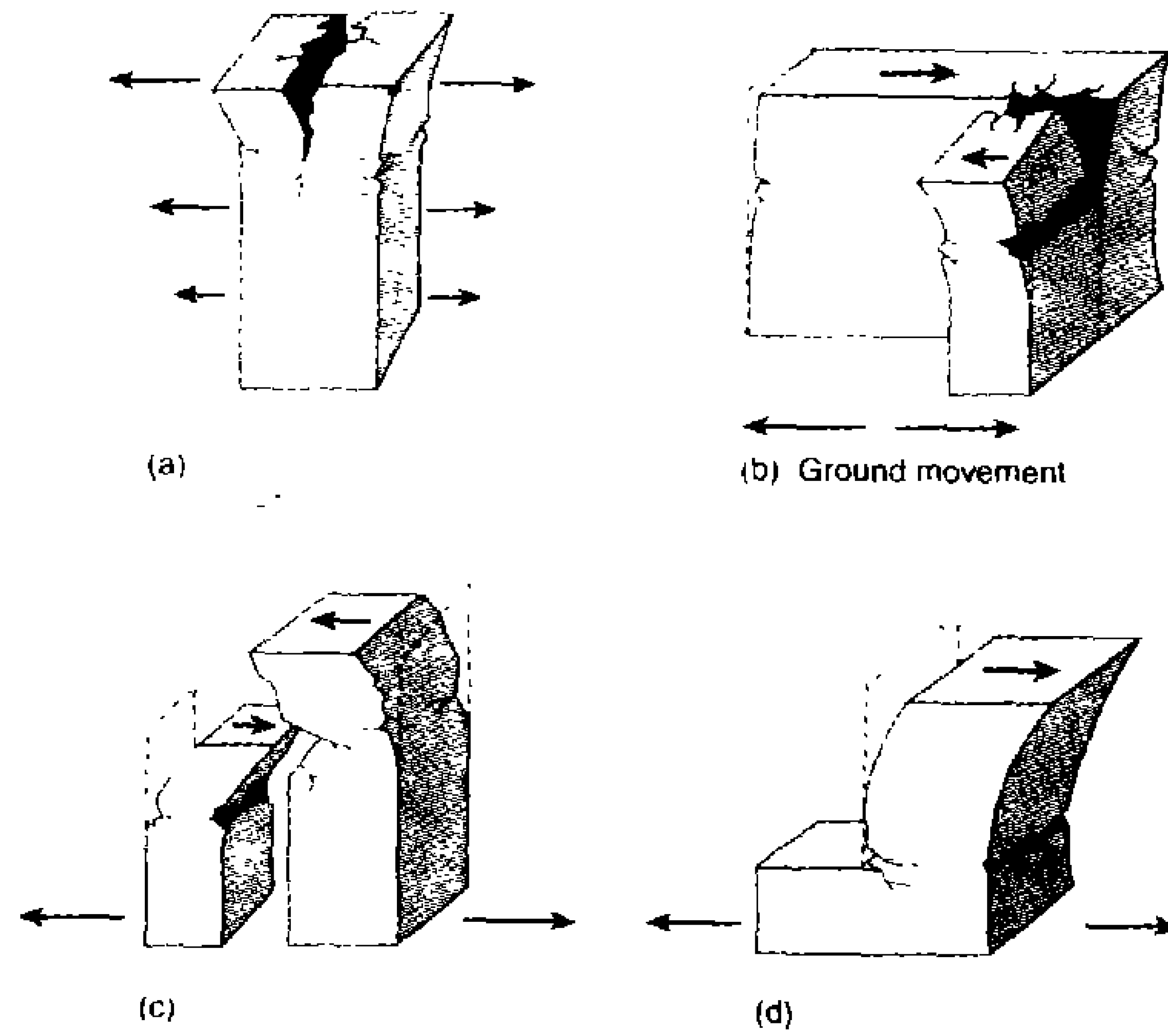
الشكل (٤-٤) مبنى ذو سبعة طوابق مشيد من الخرسانة الثقيلة فى مكسيكو سيتى ينهار مثل الفطيرة.



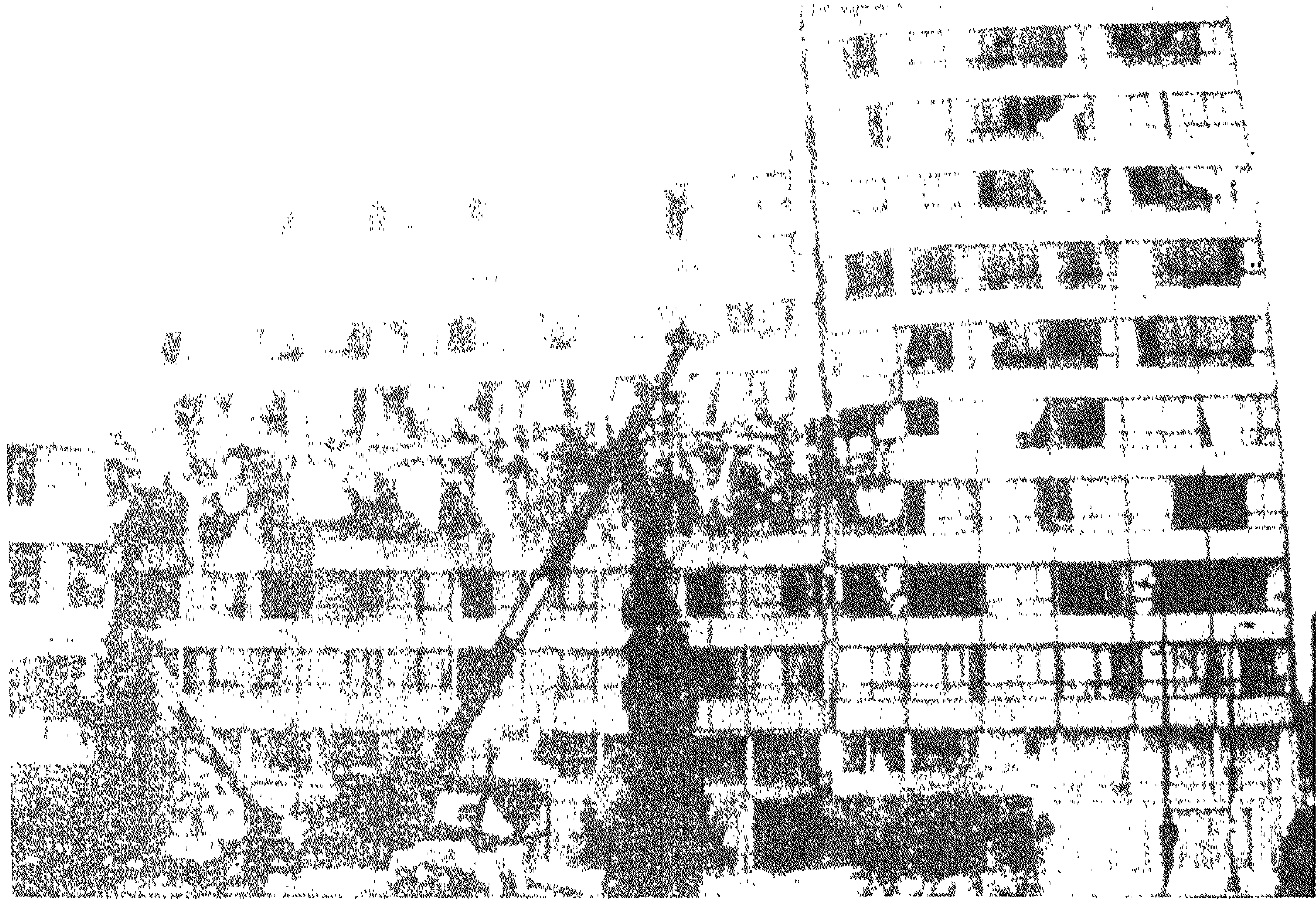
الشكل (٤-٥) خريطة المكسيك الساحلية موضحا عليها تواريخ الزلازل ومناطق الصدوع التى تحركت (الخطوط المشرطة) أثناء أحداث انضواء لوح كوكاس. وقد امتلأت ثغرة ميكواكان الزلزالية بزلازل عام ١٩٨٥. وتأخر موعد ثغرة جيريرو الزلزالية فى حركة كبيرة.



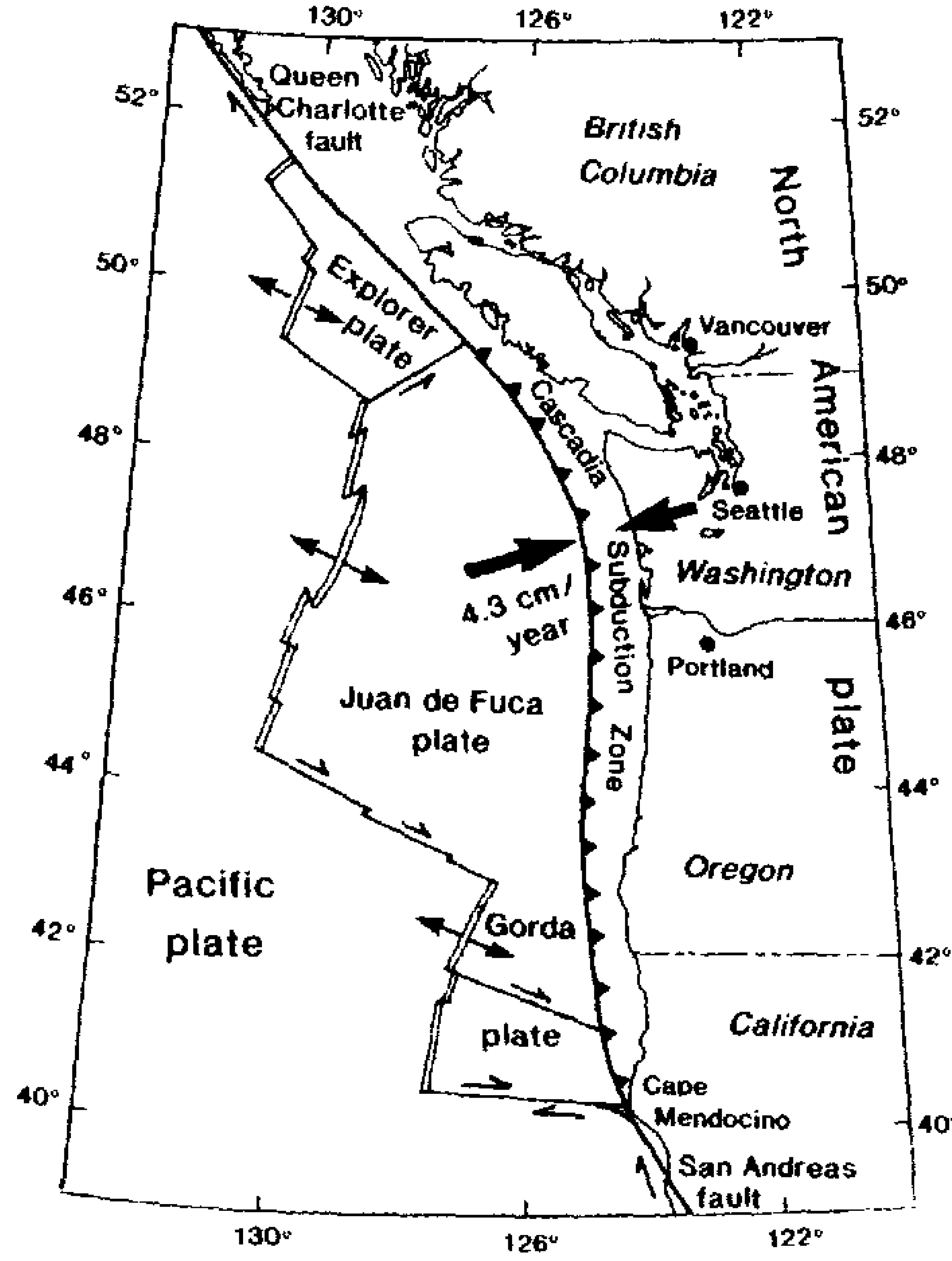
الشكل (٤-٦) بعض التسارعات الشرقية والغربية المسجلة فى مكسيكو سيتى فى عام ١٩٨٥. وتقع محطة الأرصاد الجامعية الوطنية فى المكسيك **UNAM** على تل صخرى صلد وتلقت تسارعات صغيرة. وتقع وزارة النقل والمواصلات **SCT** على رواسب بحيرة رخوة ضخَّمت الموجات الزلزالية.



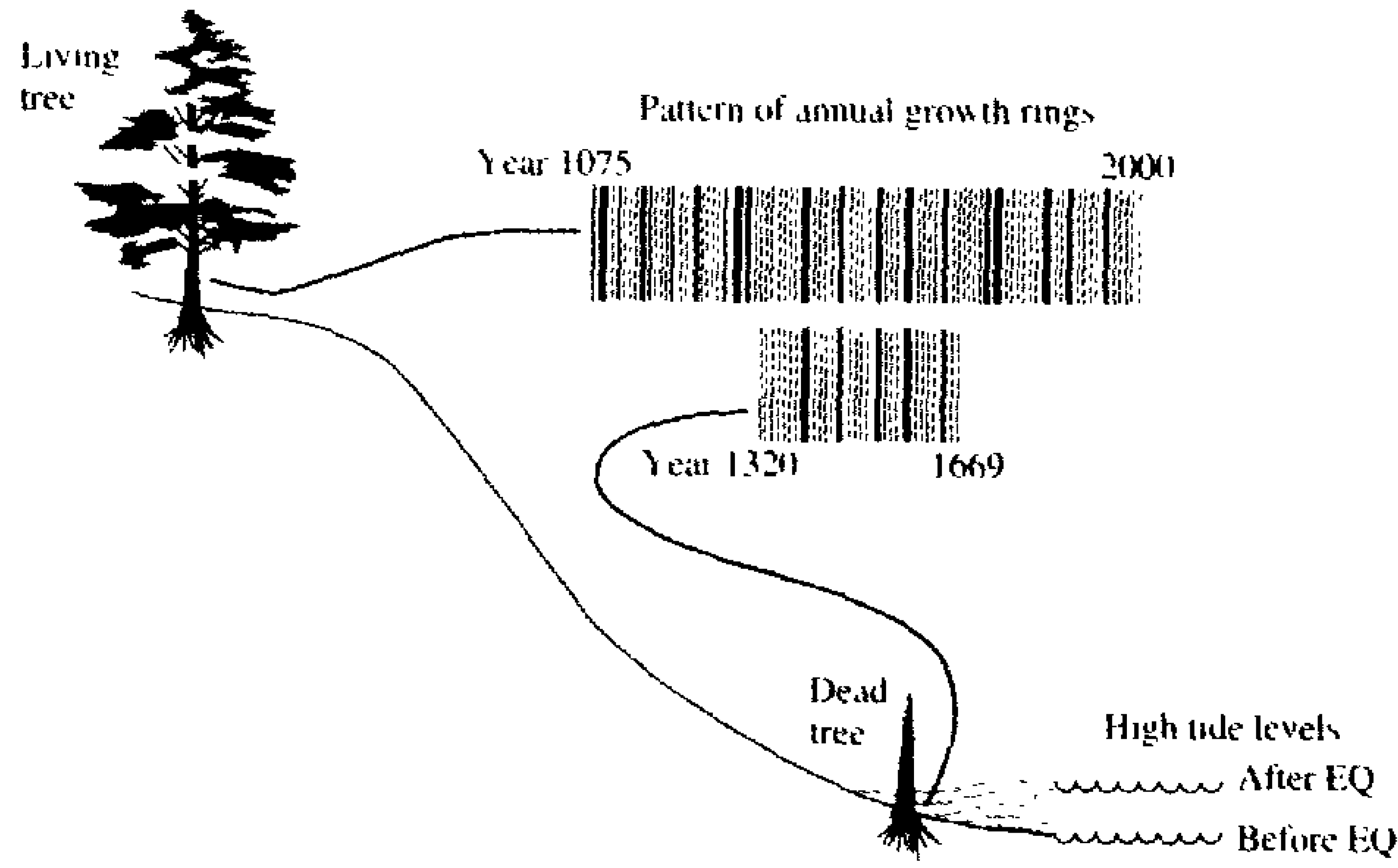
الشكل (٤-٧) بعض مشكلات الاستجابة فى المبانى أثناء زلزال مكسيكو سيتى. (أ) يزيد اتساع الاهتزاز فى أعلى المبنى. (ب) تعانى المبانى ذات المحور الطويل العمودى على حركة الأرض من اهتزاز أكثر. (جـ) تتأرجح المبانى ذات الارتفاعات المختلفة بترددات مختلفة ويرتطم بعضها ببعض. (د) المبنى ذو الارتفاعات المختلفة يميل إلى التمزق.



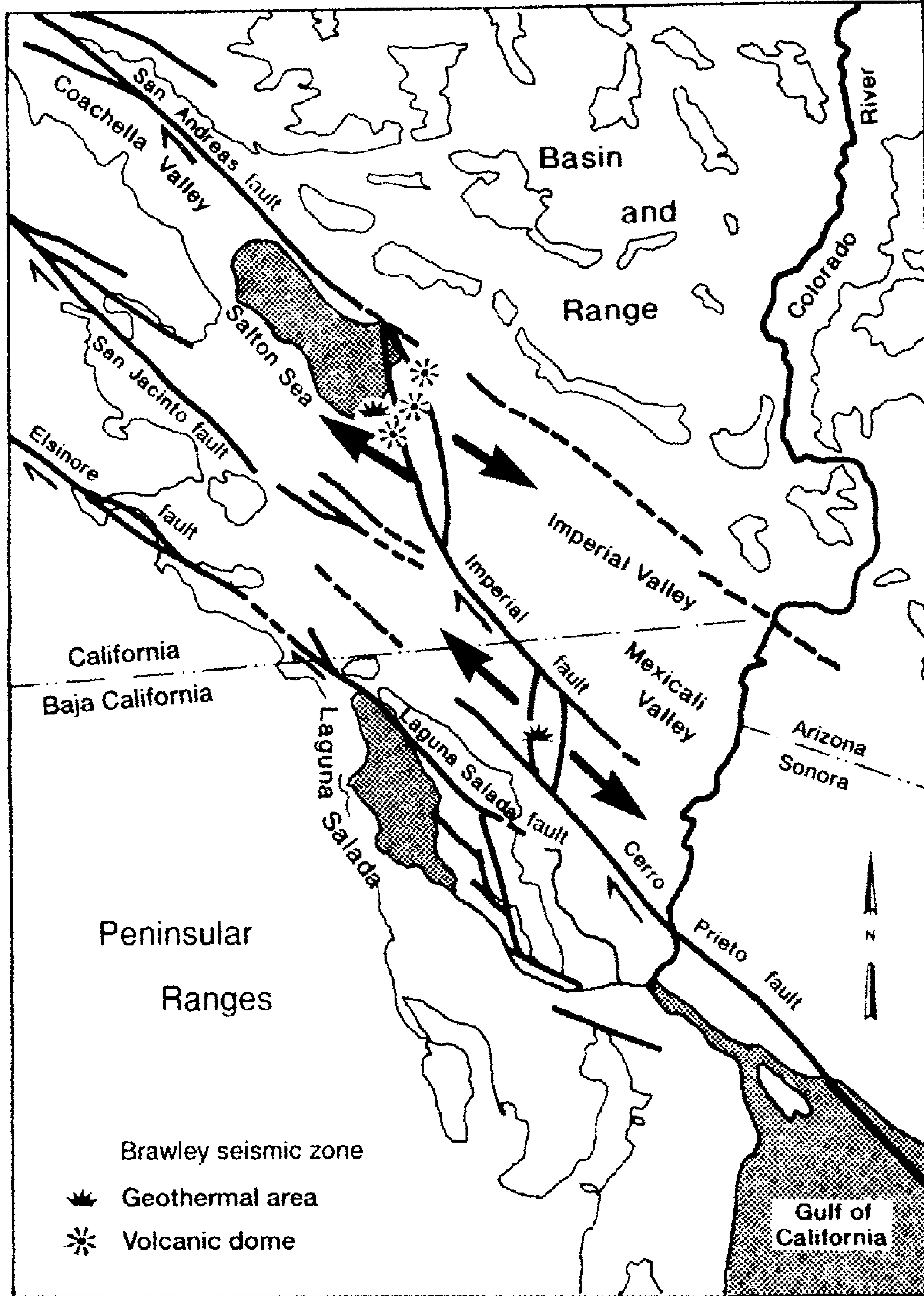
الشكل (٤-٨) خسائر زلزال مكسيكو سيتى. المبنى ذو الطوابق الأربعة ارتطم عدة مرات بالمبنى الأعلى لفندق دى كارلو (المبنى الأوسط) مسببا انهياراً لطوابقه الوسطى (انظر الشكل ٤-٧جـ). وتكبد المبنى الذى فى اليمين كذلك خسائر بالطرق من فندق دى كارلو.



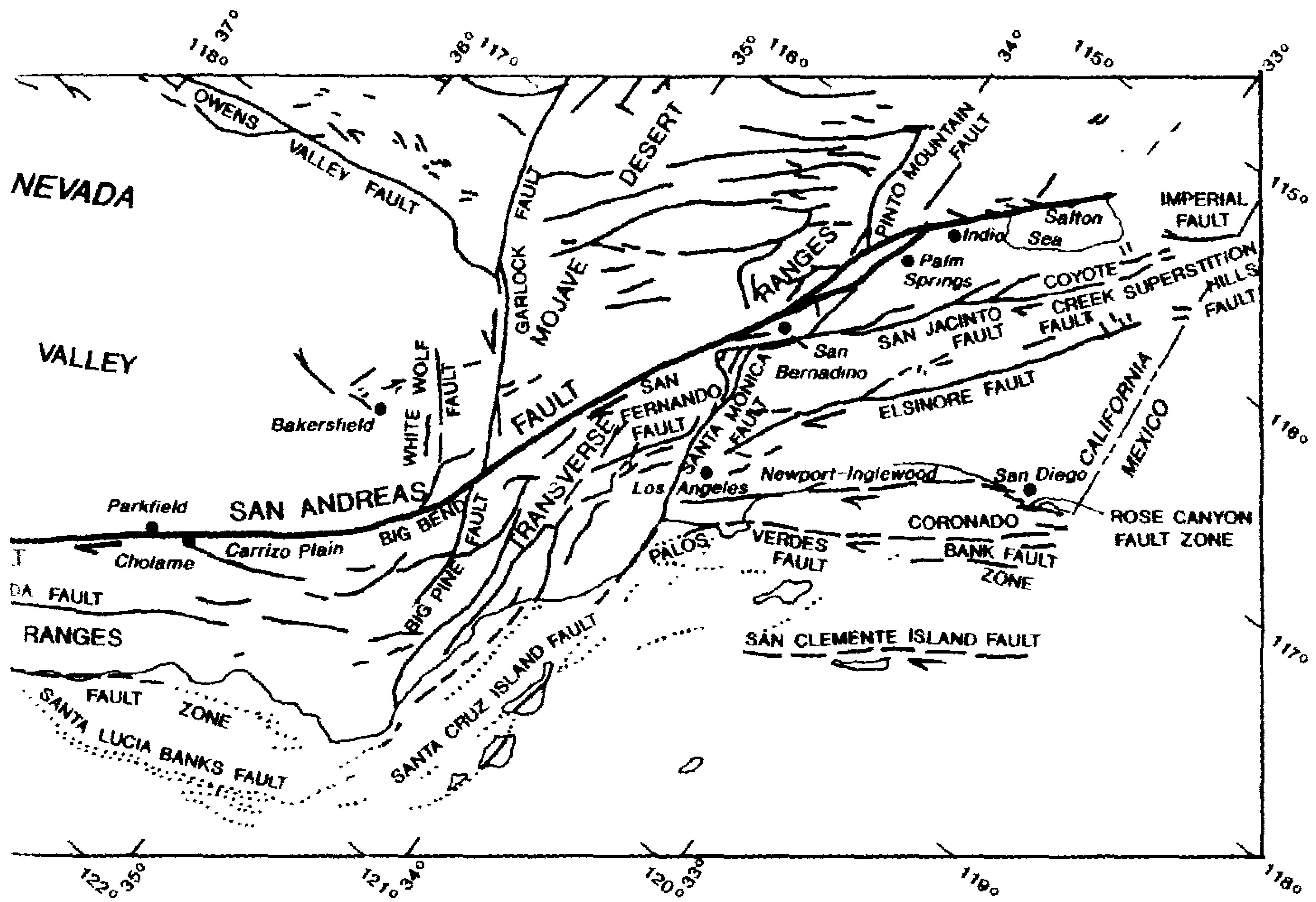
الشكل (٤-٩) خريطة ألواح محيطية صغيرة الحجم وحديثة العمر تنضوى تحت الشمال الغربى المطل على المحيط الهادى (أى تحت لوح أمريكا الشمالية- المترجم).



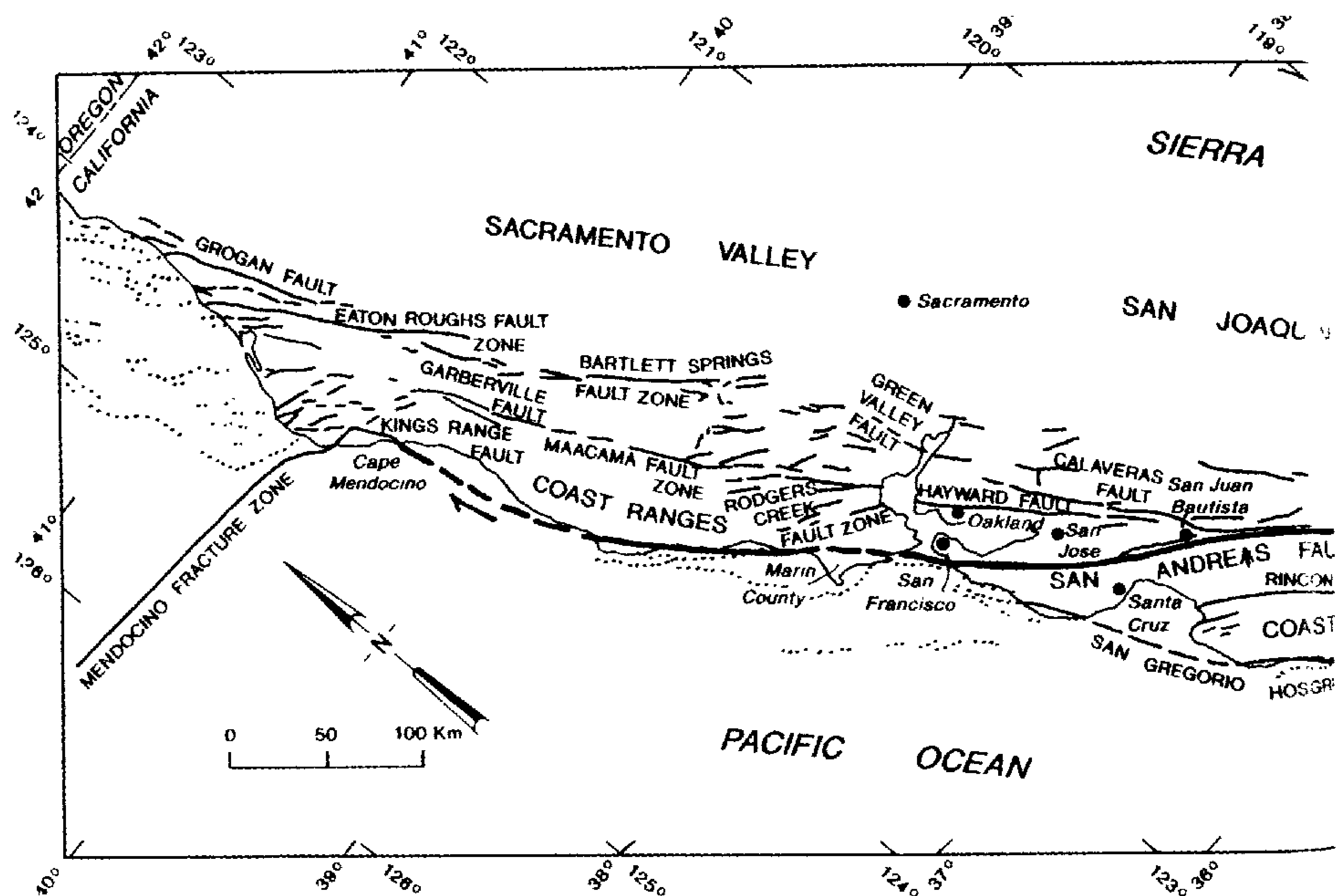
الشكل (٤-١٠) حلقات النمو السنوى فى الأشجار الغارقة على طول ساحل أوريجون- واشنطون- بريتيش كولومبيا تدل على موتها بعد موسم الخضرة فى ١٦٩٩. وغمر ماء البحر الأرض التى هبطت أثناء زلزال قوته ٩.



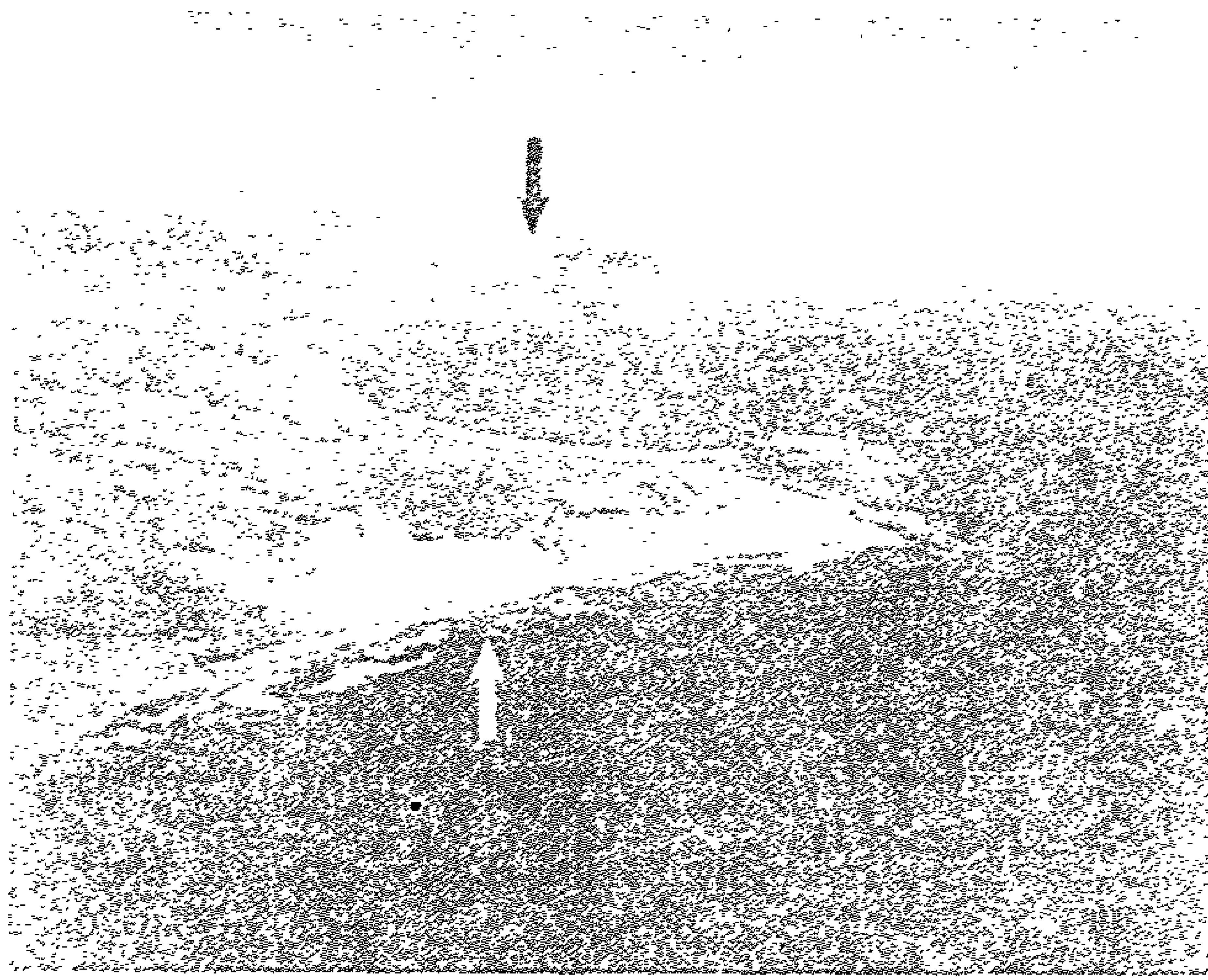
الشكل (٤-١١) خريطة أقصى شمال خليج كاليفورنيا. لاحظ مركزى الانتشار (موضحة بالأسهم الكبيرة المتعاكسة) والصدوع (التحويلية) اليمينية الجانبية المتعلقة بها.



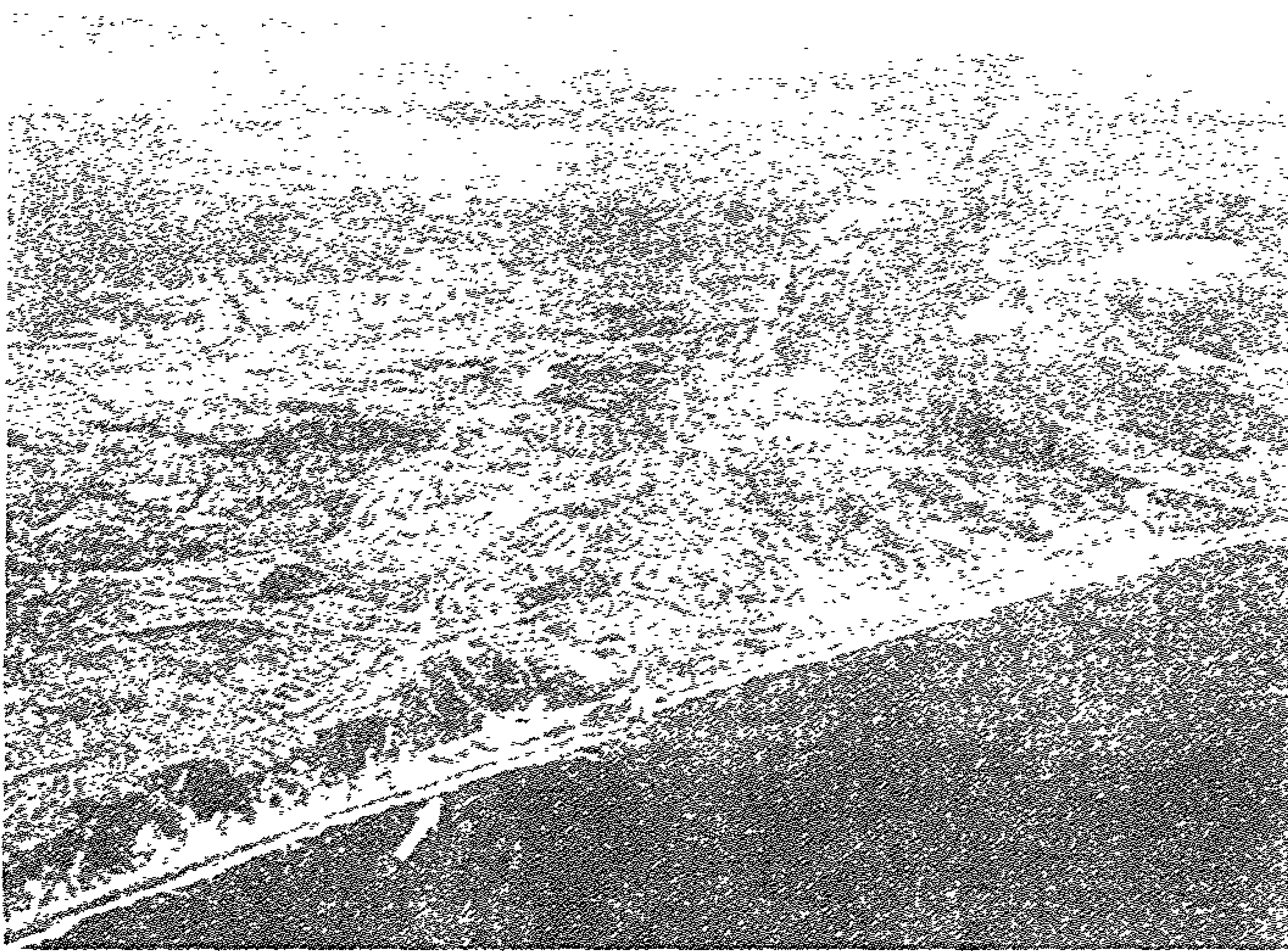
الشكل (٤-١٢) صدع سان آندرياس وصدوع أخرى فى كاليفورنيا.



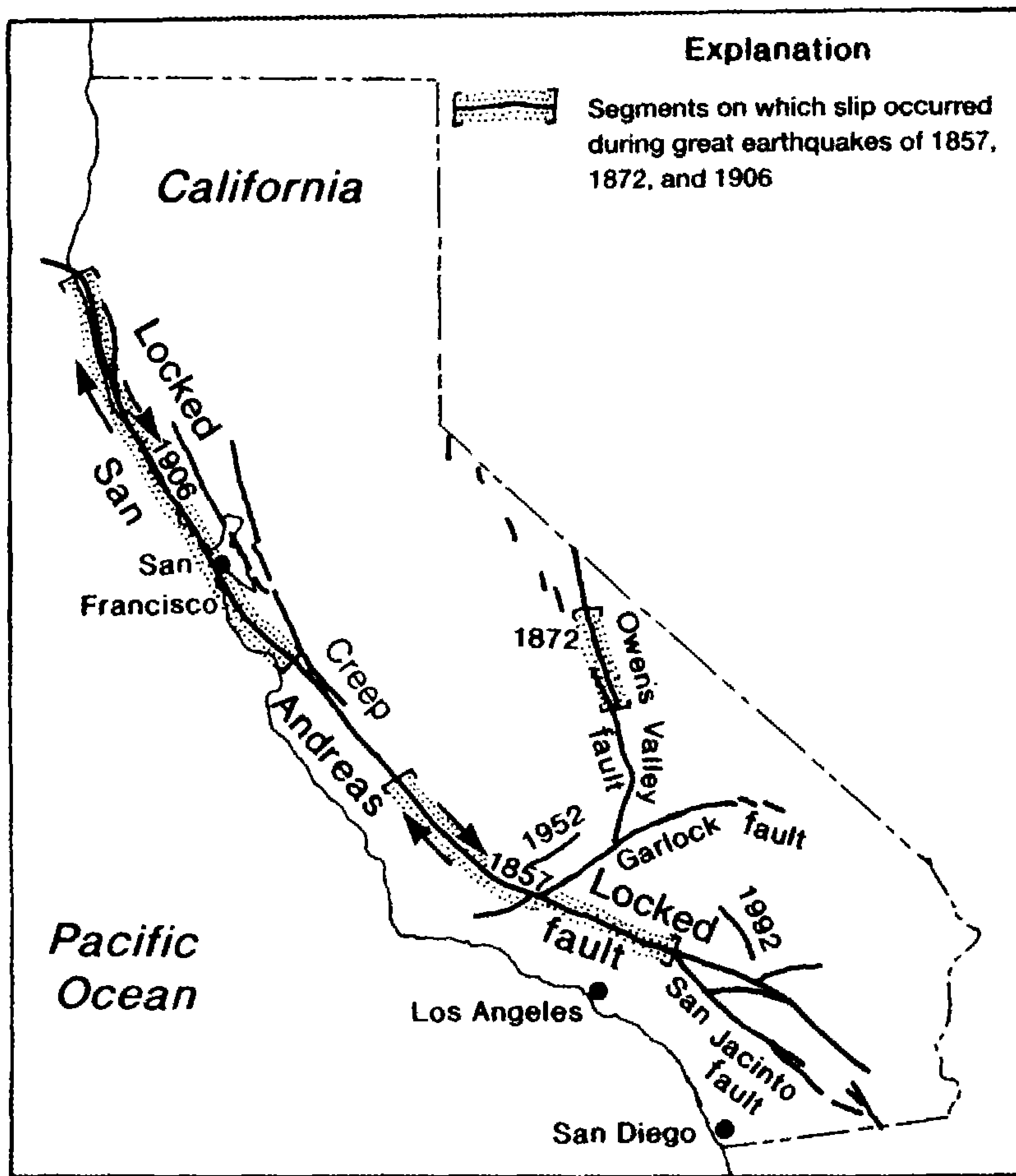
تابع الشكل (٤-١٢).



الشكل (٤-١٣) منظر جنوبي - جنوب شرقي لصدع سان آندرياس. والمنظر فوق رأس بوديجا وخليج توماليس في اتجاه المركز السطحي لزلزال سان فرنسيسكو في عام ١٩٠٦.



الشكل (٤-١٤) منظر جنوب شرقي على طول أثر صدع سان آندرياس. ويقع مطار سان فرنسيسكو وجزء من خليج سان فرنسيسكو في يسار منتصف الصورة. وتقع البحيرات الخطية الظاهرة في يمين منتصف الصورة (مثل خزان ينابيع كريستال) في منطقة الصدع. وفي أسفل المنتصف استصلحت تشققات الأرض وسويت وبنيت فوقها المنازل!



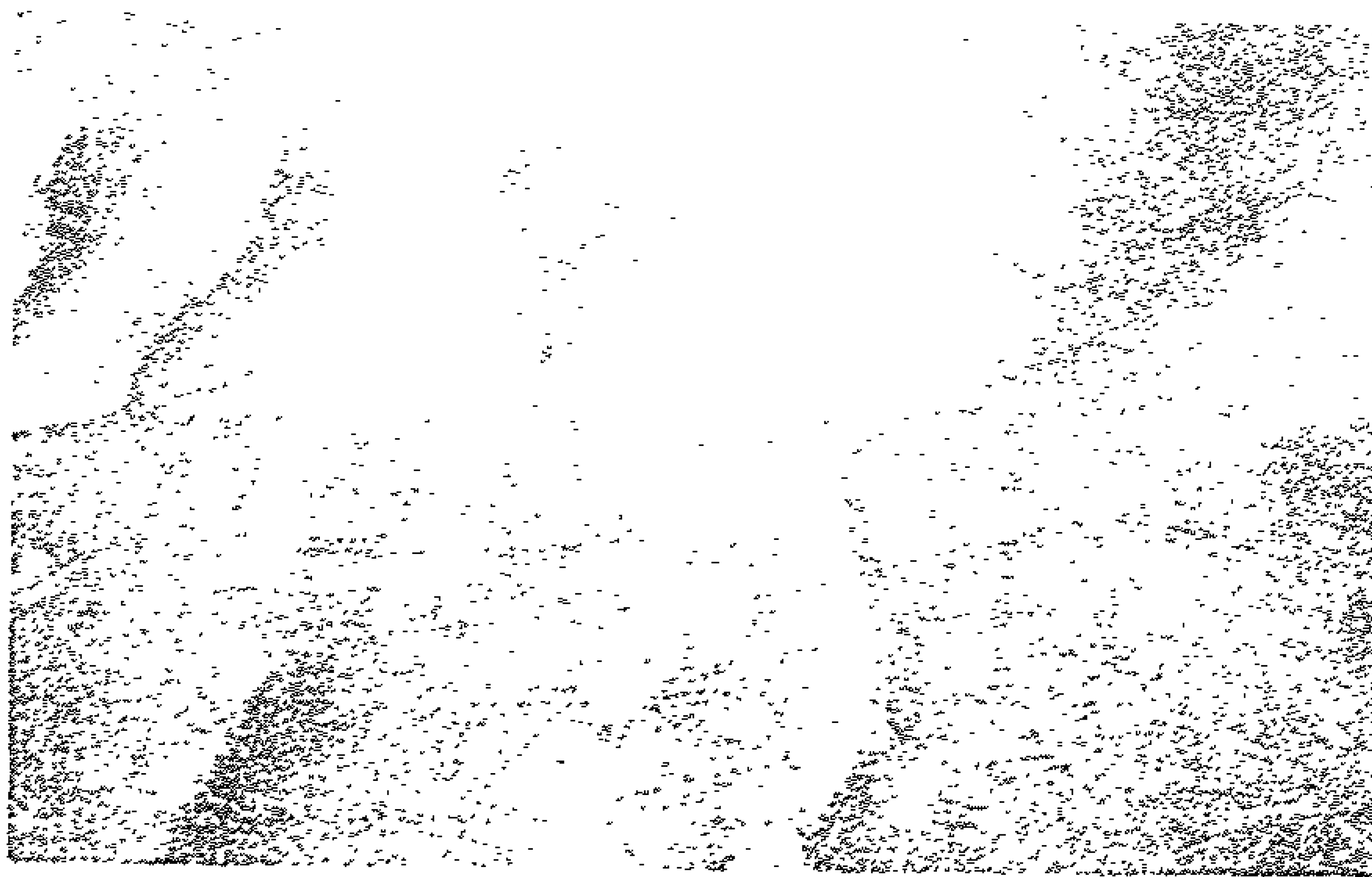
الشكل (٤-١٥) نشاط تاريخي لبعض صدوع كاليفورنيا. والقطاع الشمالي المغلق من صدع سان آندرياس انشق لمسافة ٢٦٥ميلا في زلزال ١٩٠٦ (قوته ٨). والقطاع الأوسط الزاحف وقعت به زلازل صغيرة متكررة. وانشق القطاع الجنوبي- الأوسط المغلق لمسافة ٢٢٥ميلا في زلزال ١٨٥٧ (قوته ٨,٣). وينتظر وقوع زلزال كبير في أقصى جنوبي سان آندرياس. وانشق صدع وادي أووينز لمسافة ٧٠ميلا في زلزال ١٨٧٢ (قوته ٧,٧). وحدث زلزال قوته ٧,٧ في صدع وايت وولف في عام ١٩٥٢، وزلزال قوته ٧,٤ في صحراء موجا في عام ١٩٩٢.



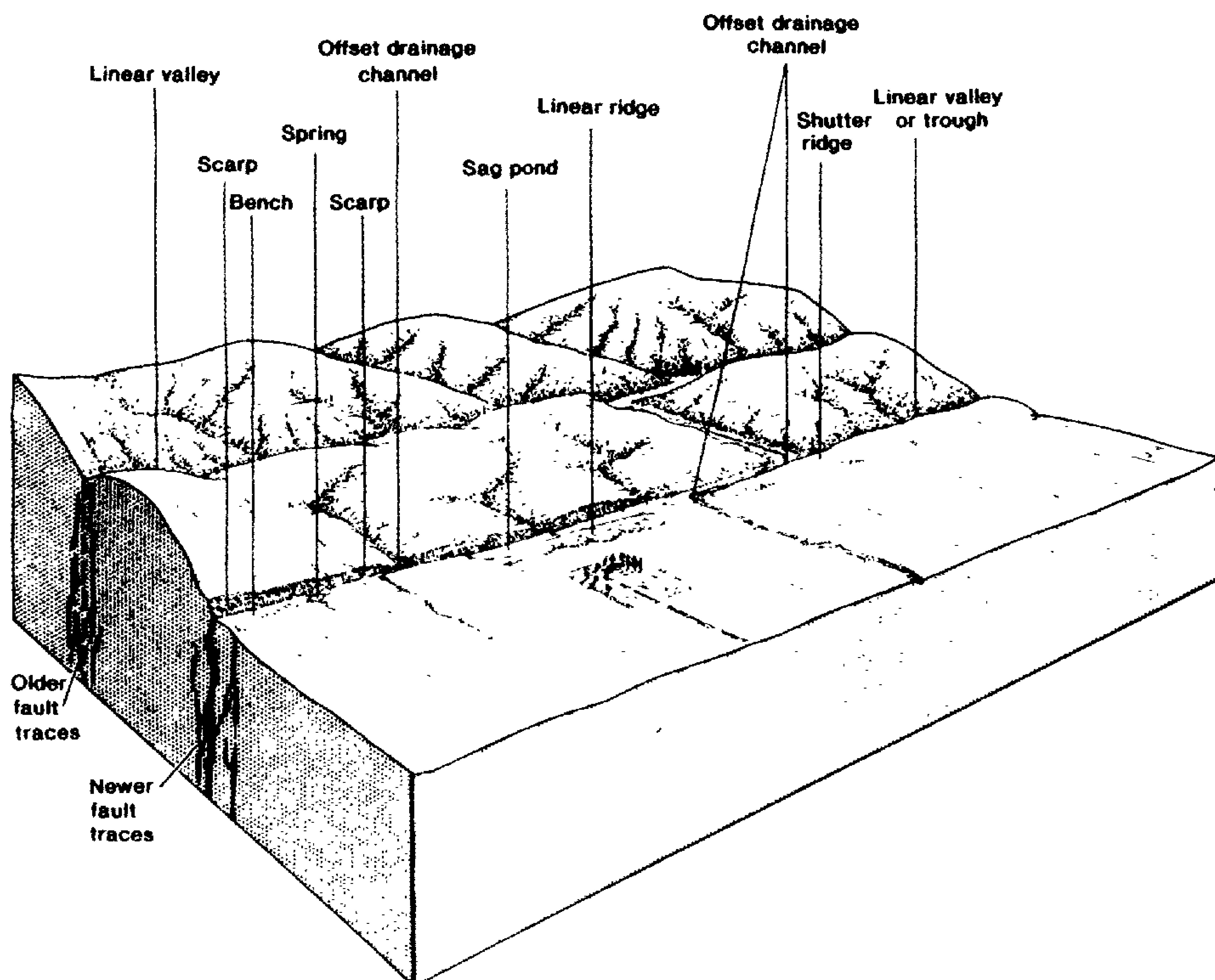
الشكل (٤-١٦) يمتد صدع سان آندرياس كشريط مائل عبر سهل كاريزو. لاحظ سلاسل الجبال والأحواض التى كونتها الموجات التضاغطية والموجات التباعدية.



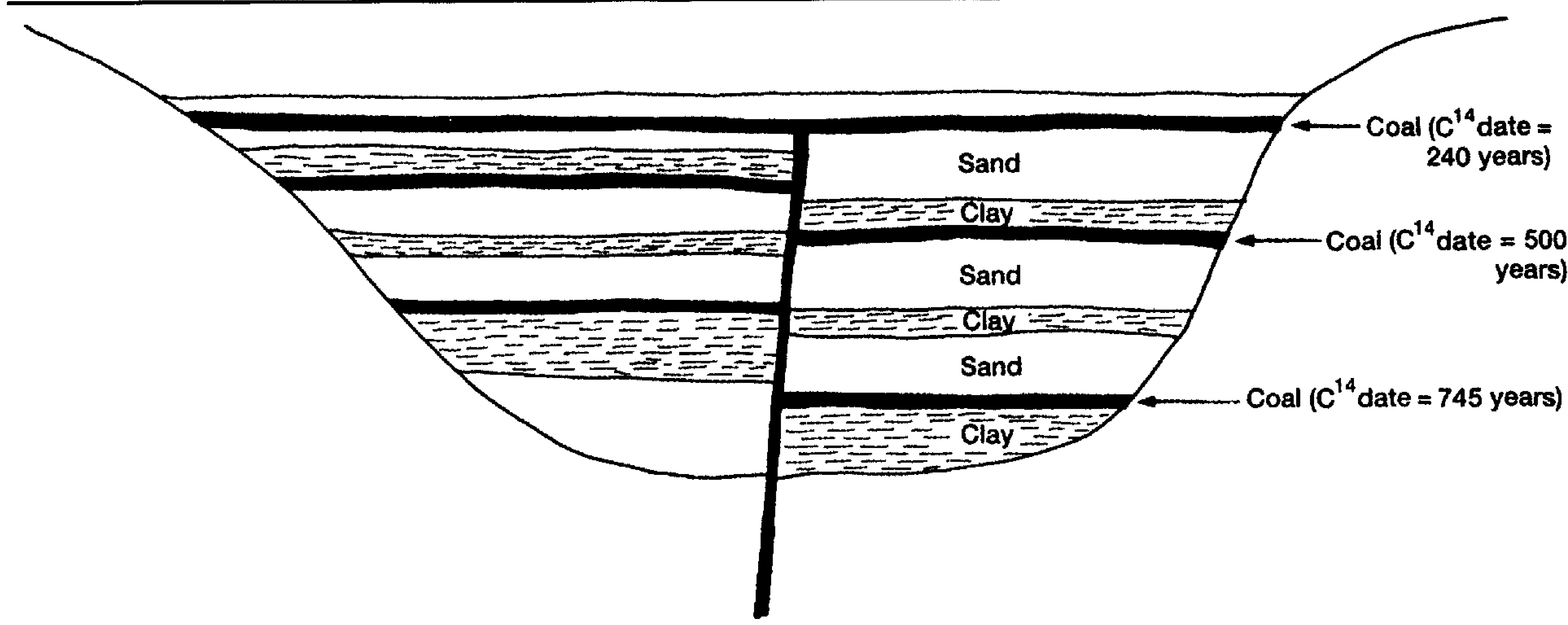
الشكل (٤-١٧) صورة بالقمر الصناعى فى اتجاه الشمال عبر صدوع إلزينور وسان جاكينتو وسان آندرياس.



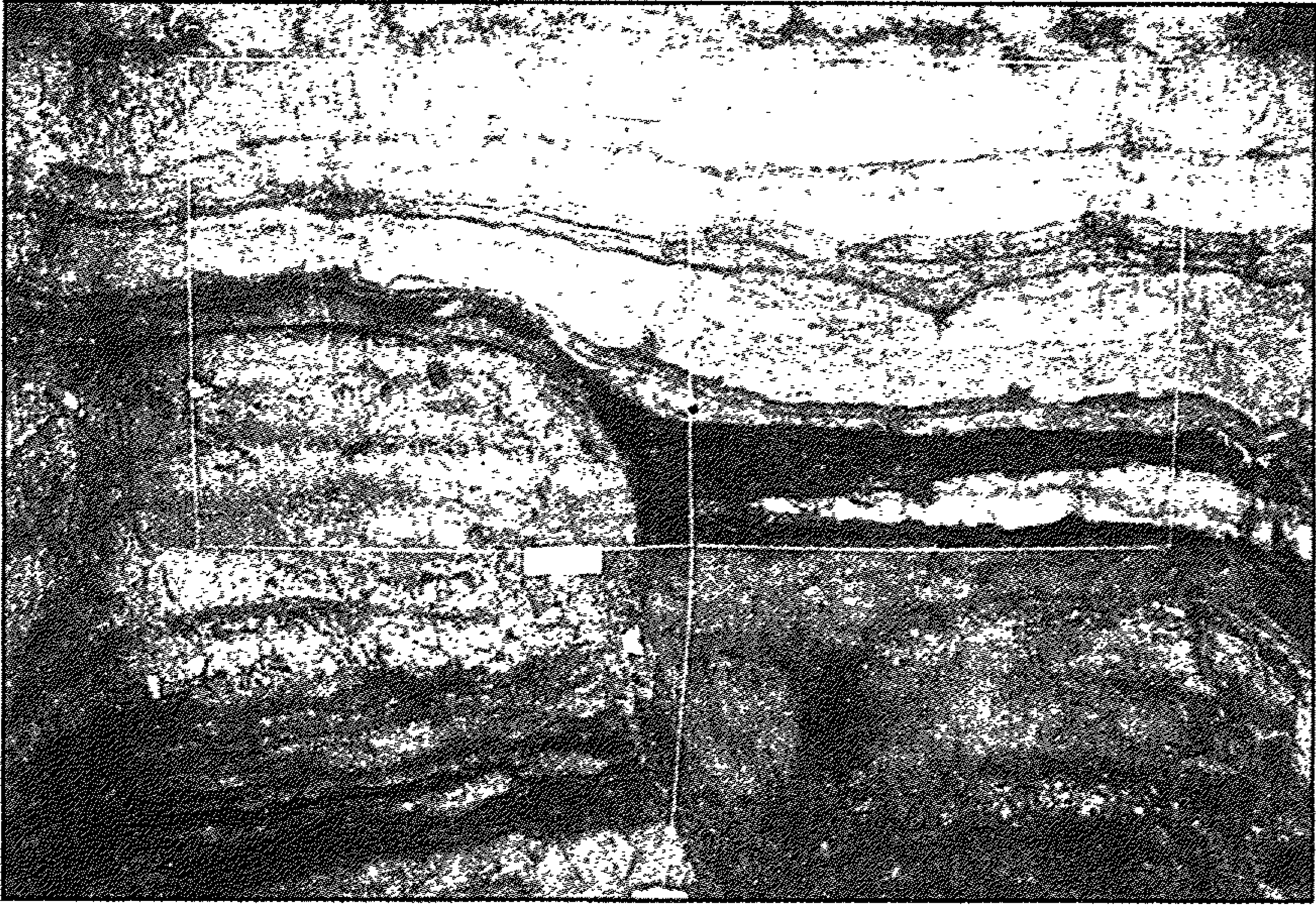
الشكل (٤-١٨) تلاحم صدع سان آندرياس عند والاس كريك فى سهل كاريزو. لاحظ تفريعات الجداول ومنخفضات البرك التى تشكلت فى الصدع. فهل كانت الحركات يمينية جانبية أو يسارية جانبية؟



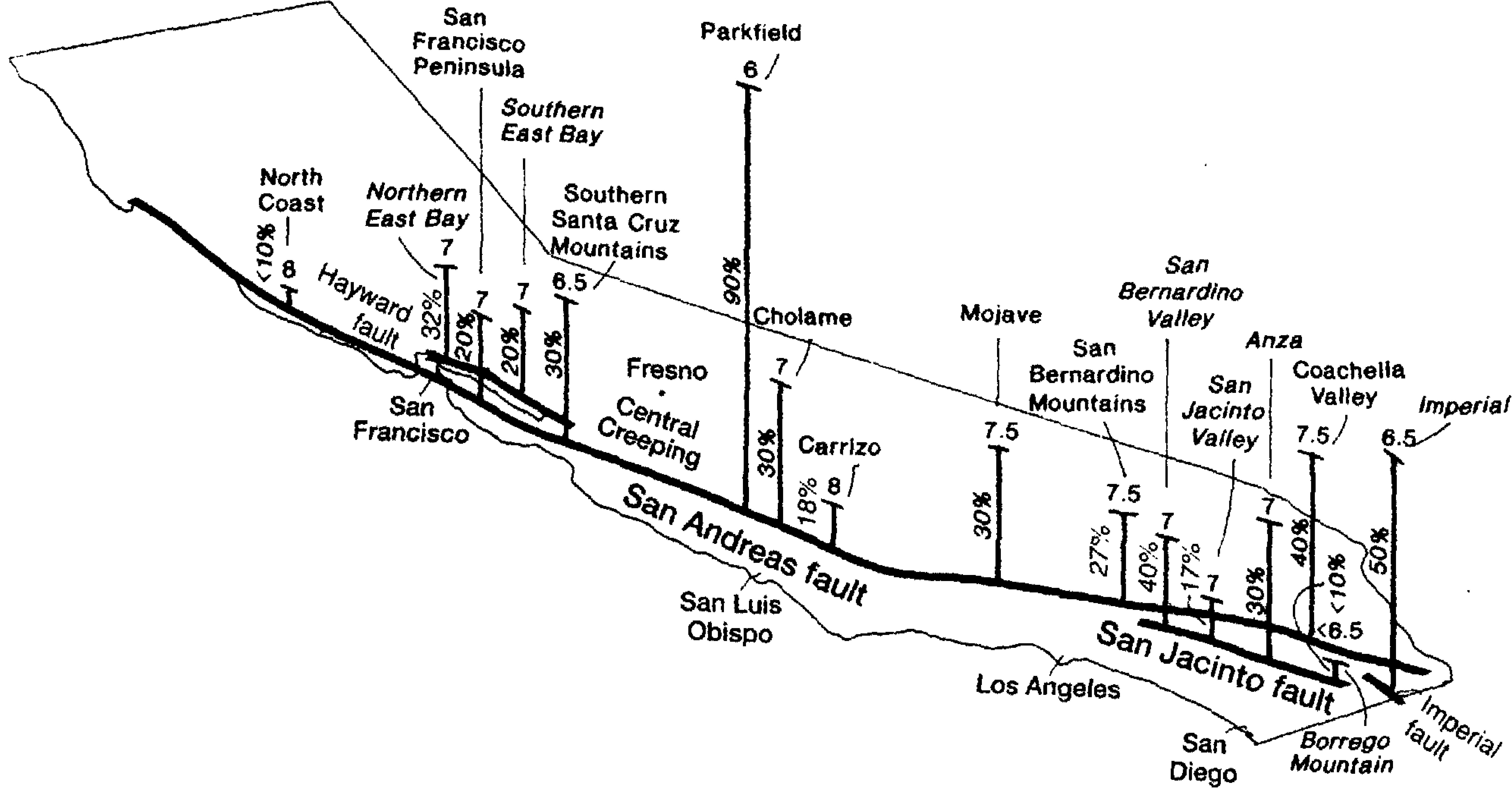
الشكل (٤-١٩) مخطط توضيحي للتضاريس الطبوغرافية على طول صدع سان آندرياس في سهل كاريزو. لاحظ البركة المنخفضة هنا وفي الشكل (٤-١٨). وتهيئ الرواسب المترسبة في هذه المنخفضات الفرصة لتسجيل زلازل ما قبل التاريخ.



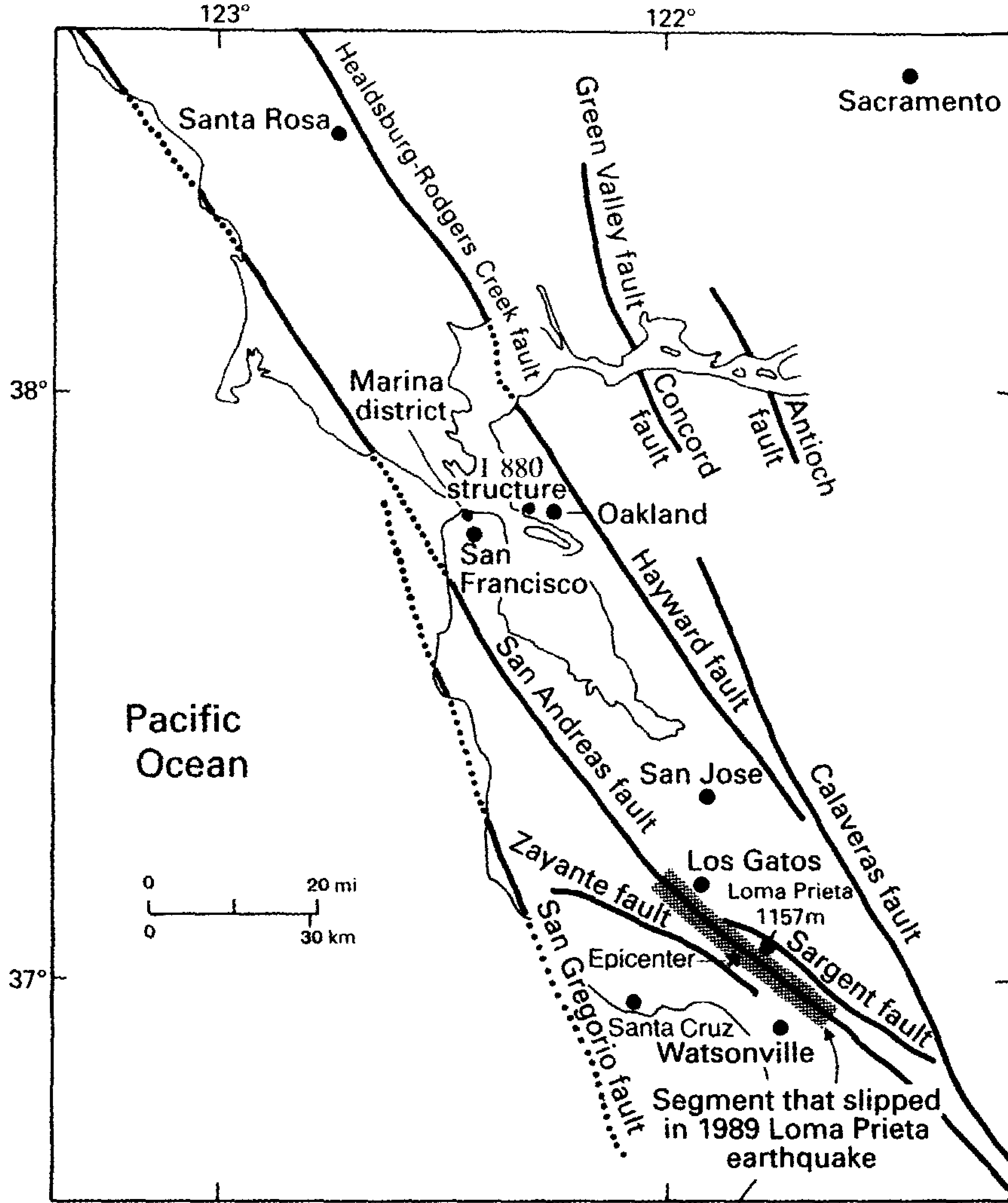
الشكل (٤-٢٠) قطاع مقطعى فى قسم من حائط الخندق فى بركة تكونت فى الصدع. ويتشعب الصدع فى طبقات الرواسب التى كانت ذات يوم مستمرة. لاحظ أن الطبقة العليا للمادة العضوية التى تكونت منذ ٢٤٠ عاما غير مكسورة. وفى العمق تشعبت الطبقة الغنية بالمواد العضوية وعمرها ٥٠٠ عام والطبقة الأعمق من ذلك الغنية بالمواد العضوية وعمرها ٧٤٥ عاما تشعبت مرتين موضحة أنها تعرضت لحركتى صدع كبير منذ أن تكونت. فما هو الفاصل الزمنى التقريبى بين الزلازل فى هذا الموقع؟ ومتى نتوقع هنا حدوث الزلزال الكبير التالى؟



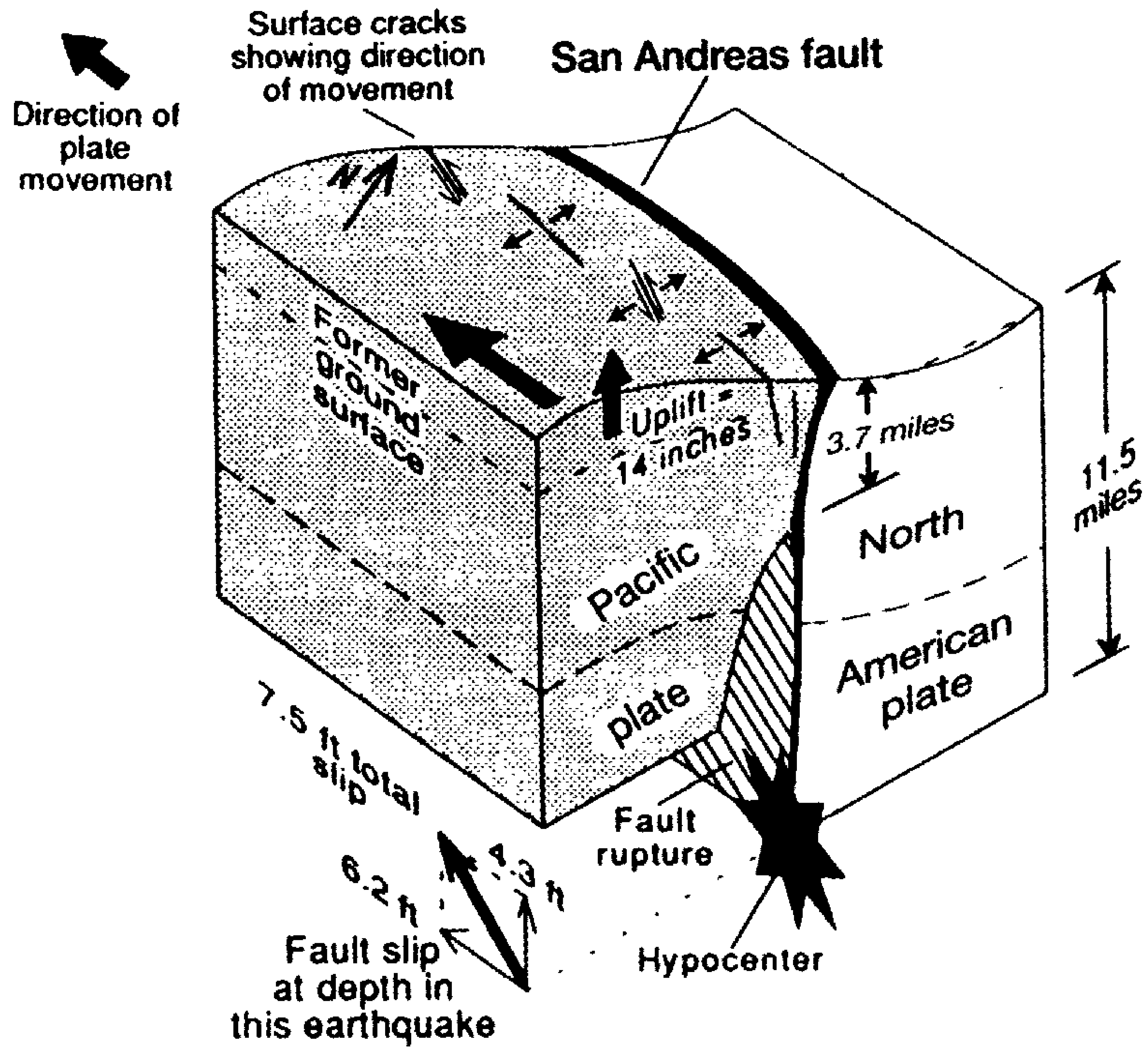
الشكل (٤-٢١) جدار فى خندق فى صدع سان آندرياس فى باللیت كريك. وتبدو الطبقات الرملية بيضاء والطبقات الصلصالية رمادية والطبقات الغنية بالمواد العضوية سوداء. وتكونت الطبقة السوداء الموضحة فى المركز فى حوالى عام ١٥٠٠ ميلادية. وتشققت ١,٥مترا (٥ أقدام) أفقيا و٣٠ سم (١ قدم) رأسيا منذ عام ١٥٠٠ ميلادية.



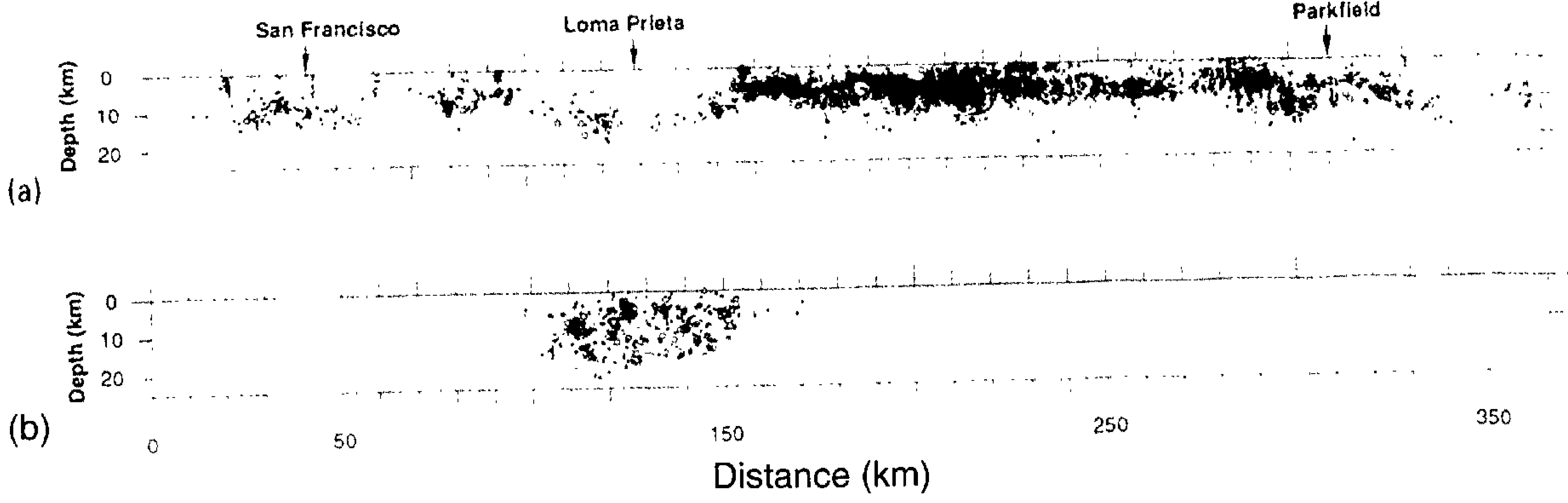
الشكل (٤-٢٢) تحاليل قامت بها مجموعة عمل توضح الزلازل المتوقعة وقوتها ونسب احتمالات حدوثها فى ٢٥ سنة القادمة. بنيت هذه التنبؤات على السجلات التاريخية وتشعبات الرواسب فى حوائط الخنادق التى دلت تحاليل الكربون المشع على تواريخها وقياسات أنظمة التطابق الكونية (gps).



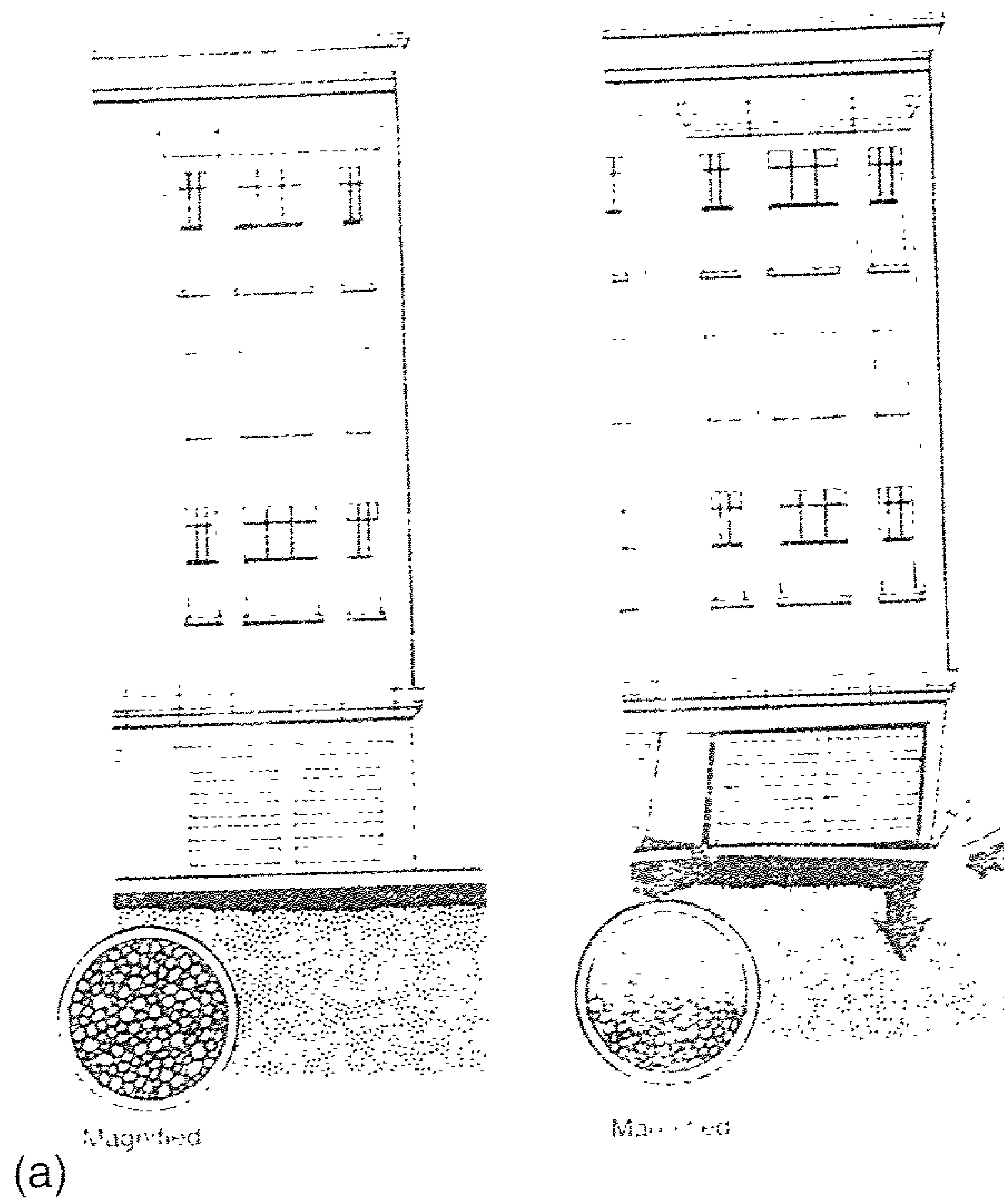
الشكل (٤-٢٣) خريطة توضح المركز السطحى لزلزال الدورة الرياضية العالمية (لوما بريتا). واتخذ صدع سان آندرياس درجة إلى اليسار مقدارها ٨-١٠ درجات فى القطاع المكسور. وتقع الدرجة إلى اليسار كذلك حيث ينفصل صدعا كالافيراس وهايوارد عن اتجاه صدع سان آندرياس الرئيسى.



الشكل (٤-٢٤) مخطط توضيحى لحركة الصدع فى منطقة سان آندرياس فى زلزال الدورة العالمية. ويميل صدع سان آندرياس ٧٠ درجة إلى الجنوب الغربى بسبب طية الدرجة إلى اليسار. بدأت حركة الصدع على عمق ١٨ كم (١١,٥ ميلا) وتحركت ١,٩ مترا (٦,٢ أقدام) أفقيا و١,٣ مترا (٤,٣ أقدام) رأسيا. وتلاشت حركة الصدع إلى أعلى فلم تشق الأرض، رغم أن السطح انبعج لأعلى ٣٦ مم (١٤ بوصة). فإذا فكرنا فى الأبعاد الثلاثة هنا: فهل يقع المركز السطحى على أثر سطح الأرض لصدع سان آندرياس بسبب ميل مستوى الصدع؟ لا.



الشكل (٤-٢٥) قطاعات مقطعية للظاهرة الزلزالية على طول صدع سان آندرياس منذ عام ١٩٦٩ حتى باكورة عام ١٩٨٩. (أ) لاحظ التركيزات الكثيفة للبؤر فى القطاع المركزى الزاحف من الصدع من جنوبى لوما بريتا حتى باركفيلد وكذلك الثغرة الزلزالية فى منطقة لوما بريتا. (ب) لاحظ البؤرة العميقة للهزة الرئيسية فى عام ١٩٨٩ والهزات التابعة العديدة. فإذا طبقنا القطاعين المقطعيين على بعضهما: لاحظنا امتلاء الثغرة الزلزالية. فهل هناك ثغرات زلزالية أخرى فى القطاع المقطعى (أ)؟ نعم، جنوبى سان فرنسيسكو فى منطقة خزان ينابيع كريستال (انظر الشكل ٤-١٤)، إلى الغرب مباشرة من منطقة وسط شبه الجزيرة المكتظة بالسكان. فمتى تملأ هذه الثغرة الزلزالية؟

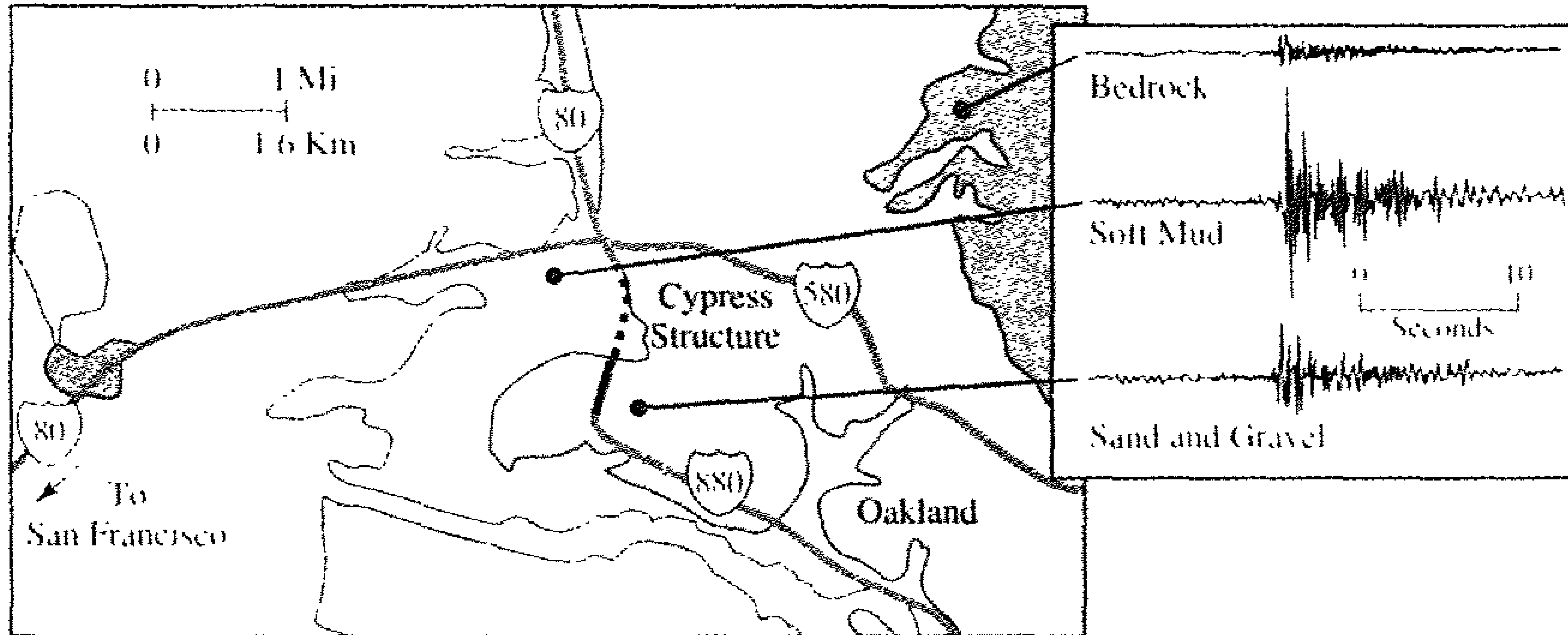




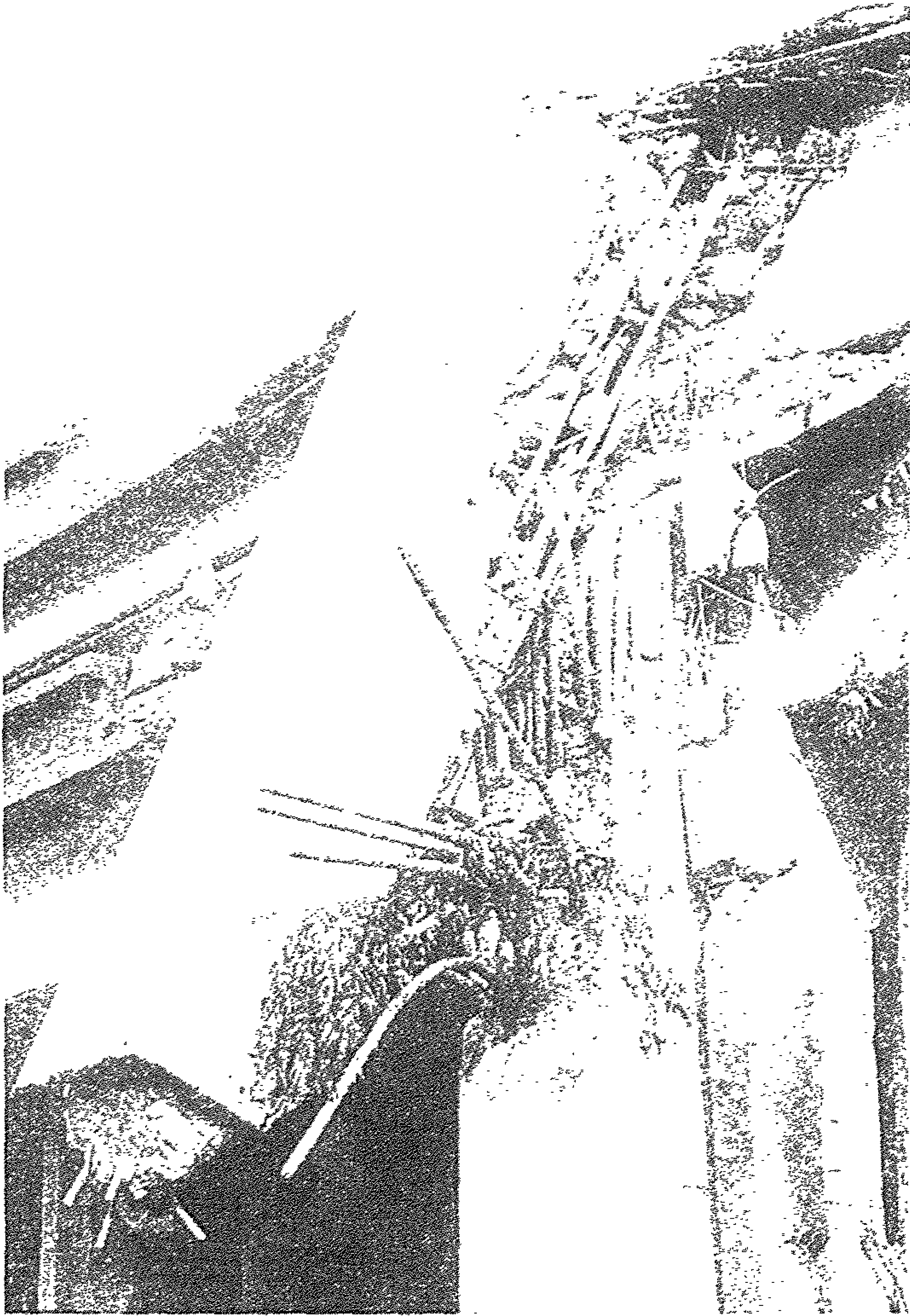
الشكل (٤-٢٦) (أ) عادة ما تستقر بهدوء الرواسب المشبعة بالماء. وعلى أية حال، عندما تهز الموجات الزلزالية يمكن لحبات الرمل والماء أن تشكل ردغة (طينا) تتدفق كالسائل. وعندما تتسيل المواد الترابية ربما تشققت أساسات المباني وربما سقطت المباني. (ب) انهيار نمطى لمبنى فى حى مارينا. وقد بنيت ثلاث طوابق سكنية فوق طابق أرضى هش، استخدم فى توقيف السيارات: والآن، أصبح ارتفاع الطوابق الأربعة ارتفاعاً للطوابق الثلاثة فقط.



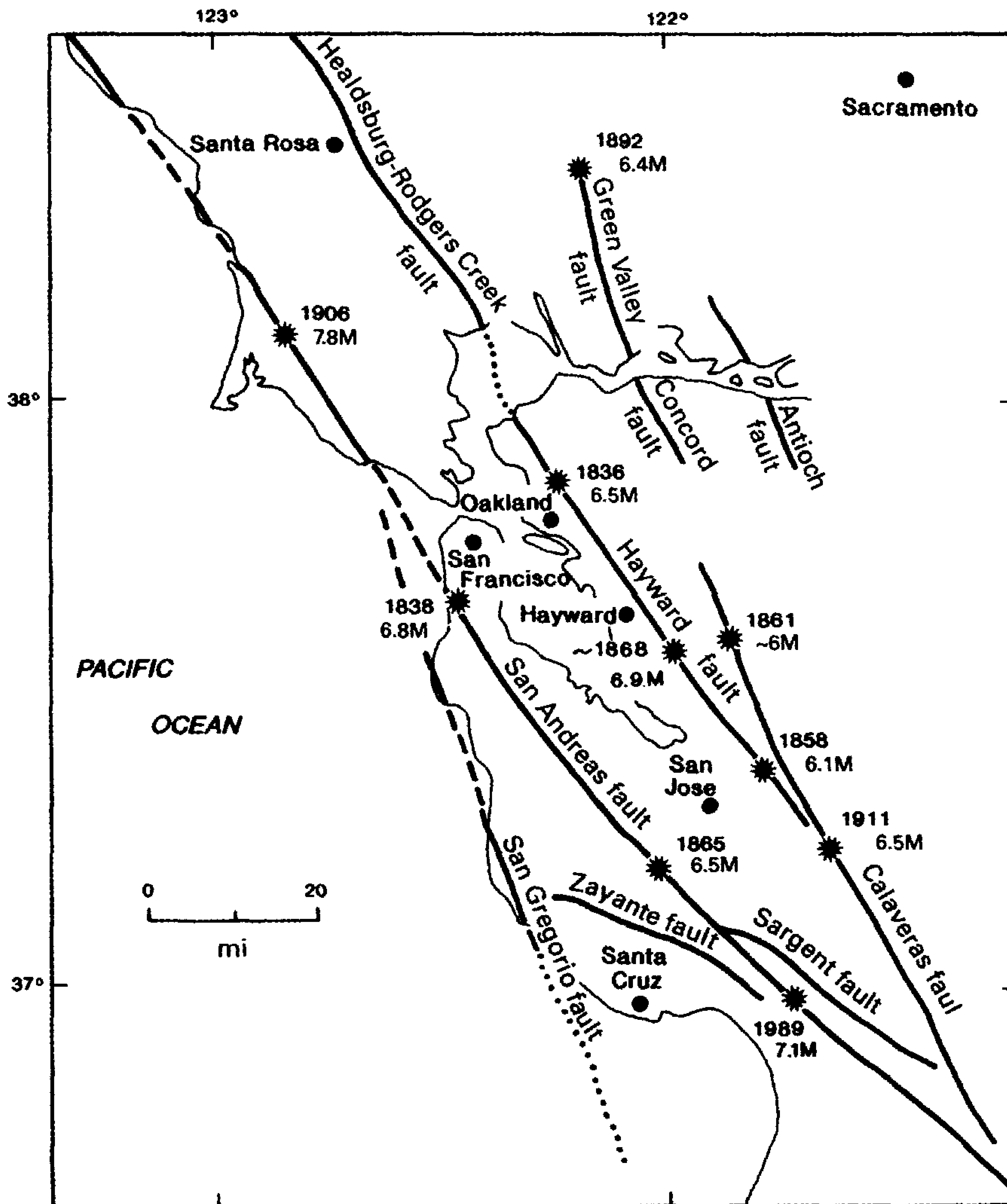
الشكل (٤-٢٧) قطاع من الطريق السريع الموصل بين الولايات ذى المستويين رقم ٨٨٠ عند أوكلاند استكمل بناؤه فى عام ١٩٥٧؛ وانهار فى زلزال ١٩٨٩ وسقط من سطح الطريق العلوى ١,٢٥ ميلا فوق الطريق السريع ساحقا الكثير من السيارات والناس.



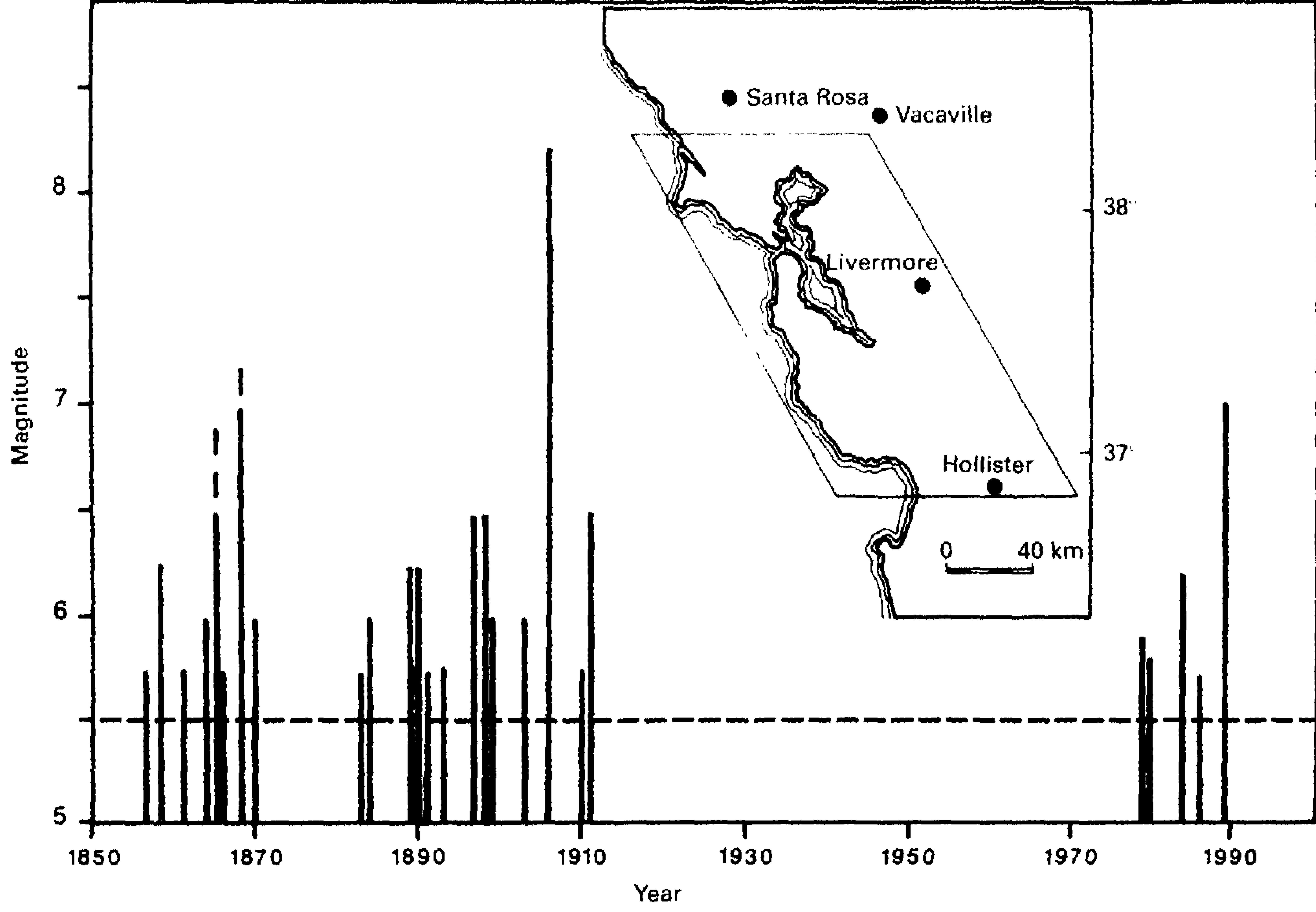
الشكل (٤-٢٨) جزء من الطريق العلوى الموصل بين الولايات رقم٨٨٠ الذى بنى فوق طين الخليج الرخو فانهار (الخط الأسود المنقط) بينما الجزء المبنى فوق الصخر لا يزال سليما (الخط الأسود المستمر). لاحظ كيف تضخمت الهزة فى الطين الرخو.



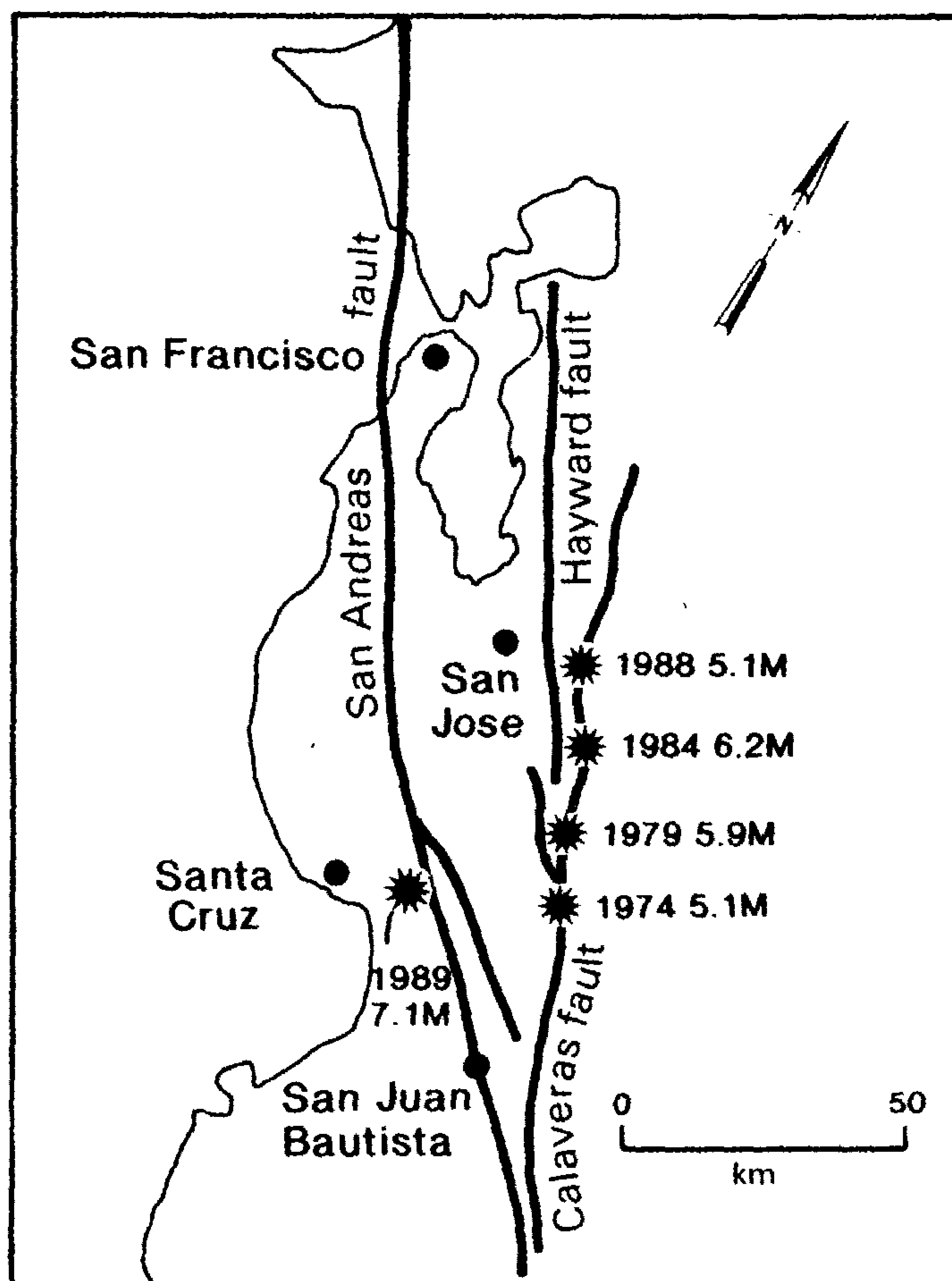
الشكل (٤-٢٩) انهيار كمرات الحمل فى الطريق السريع الموصل بين الولايات رقم٨٨٠ عند نقط الاتصال. وكان بكل كمرة ١٠ × ١٨ قضيبا من الصلب ولكنها لم تكن مستمرة الترابط عند نقط الاتصال فانهارت.



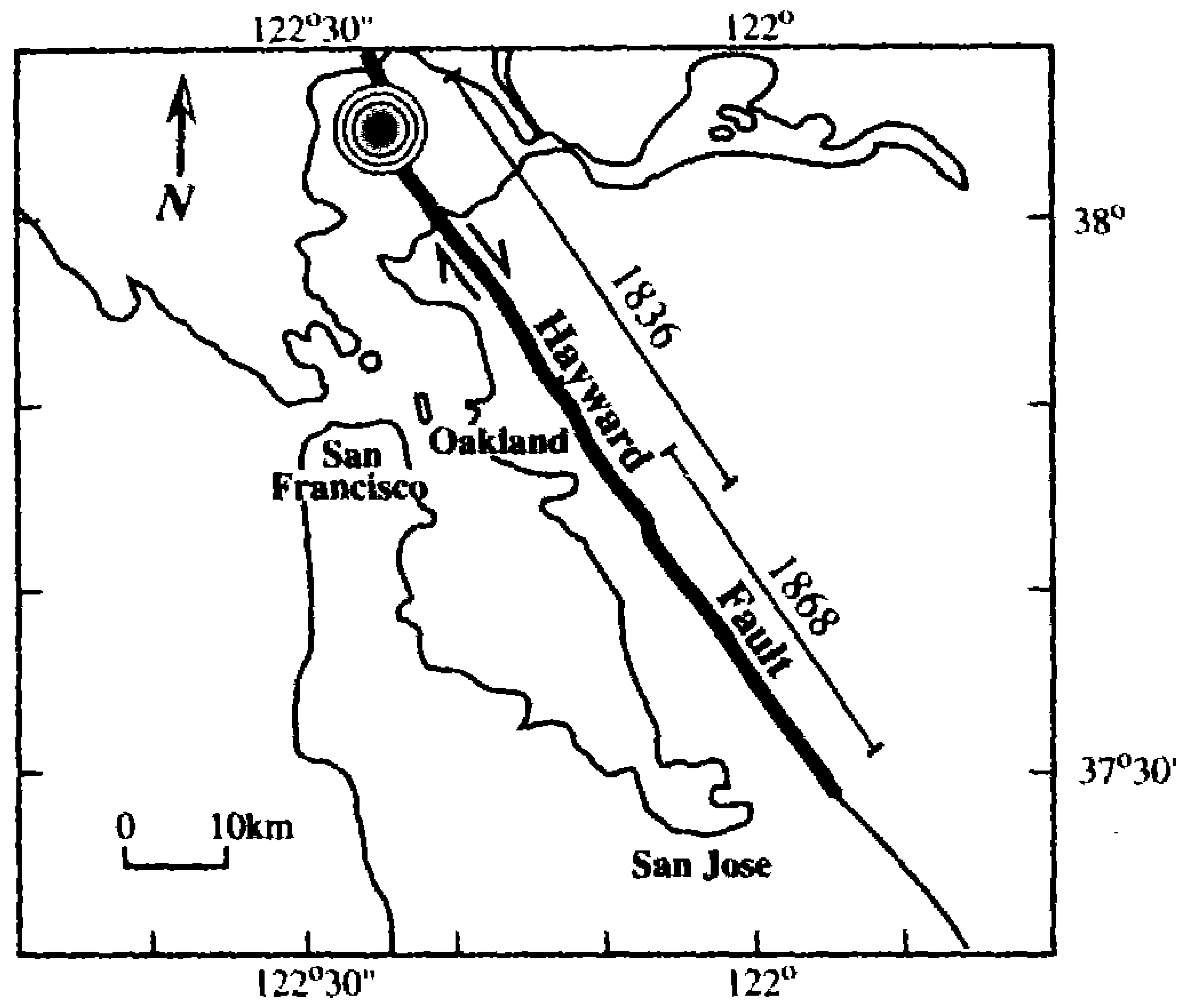
الشكل (٤-٣٠) مواقع وأحجام تقريبية لبعض الزلازل الكبيرة فى منطقة الخليج.

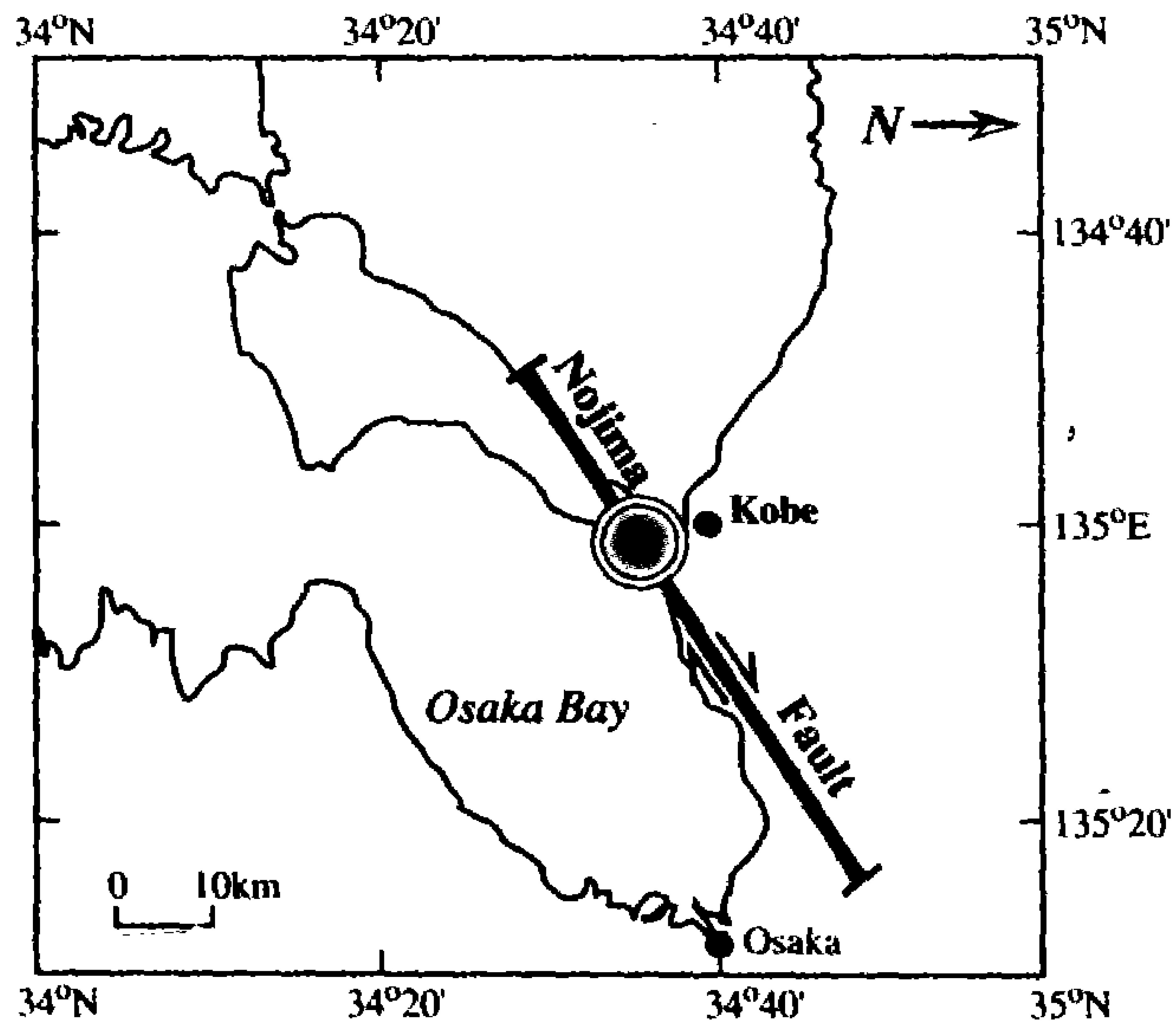


الشكل (٤-٣١) توزيع الزلازل ذات القوة أكبر من ٥.٥ بالقرب من خليج سان فرنسيسكو، ١٨٤٩-١٩٩٠. وتوضح الخريطة المفهرسة مناطق المراكز السطحية للزلزال.

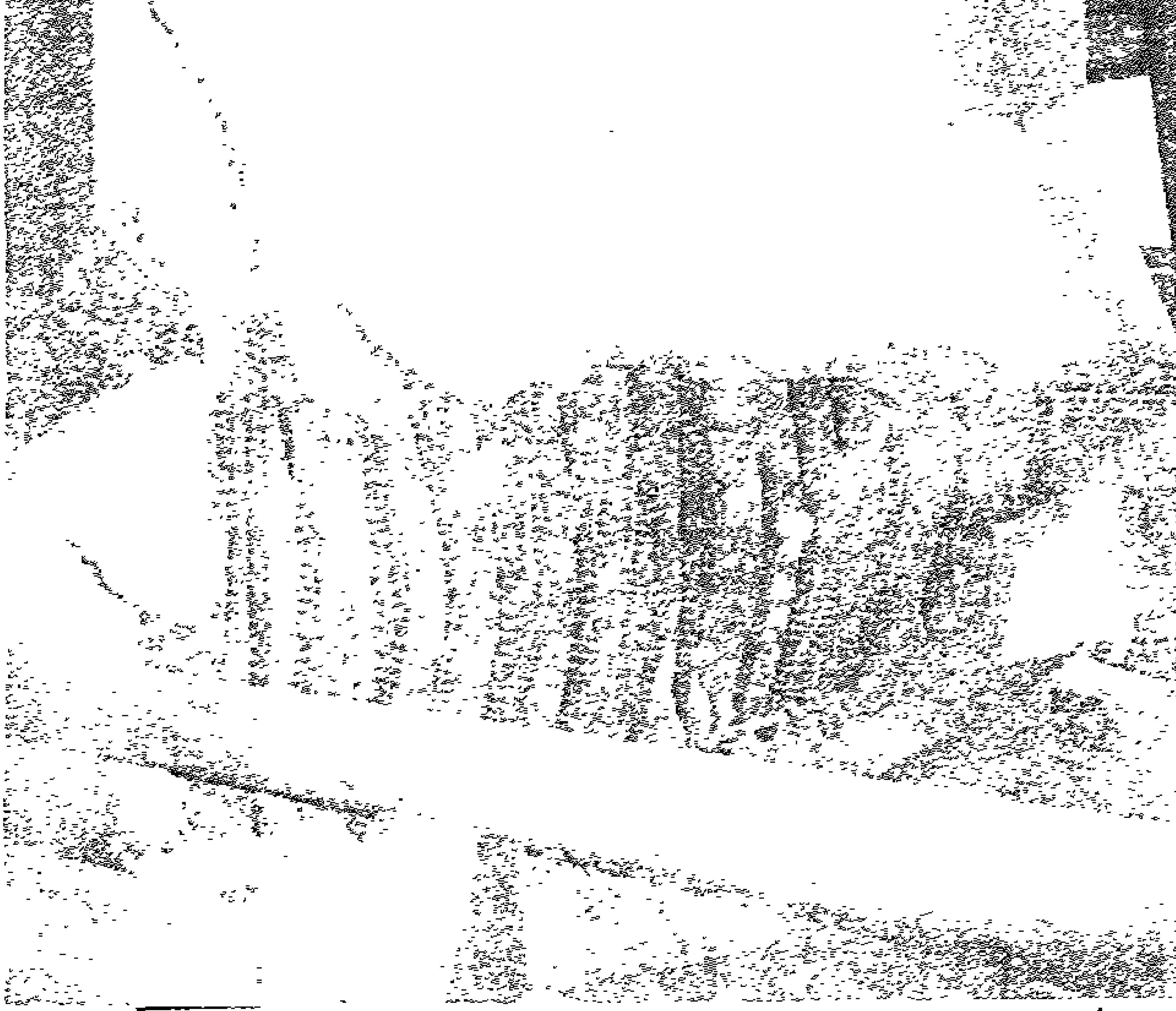


الشكل (٤-٣٢) مواقع وقوة الزلازل الكبرى الحديثة فى جنوبى إقليم خليج سان فرنسيسكو.

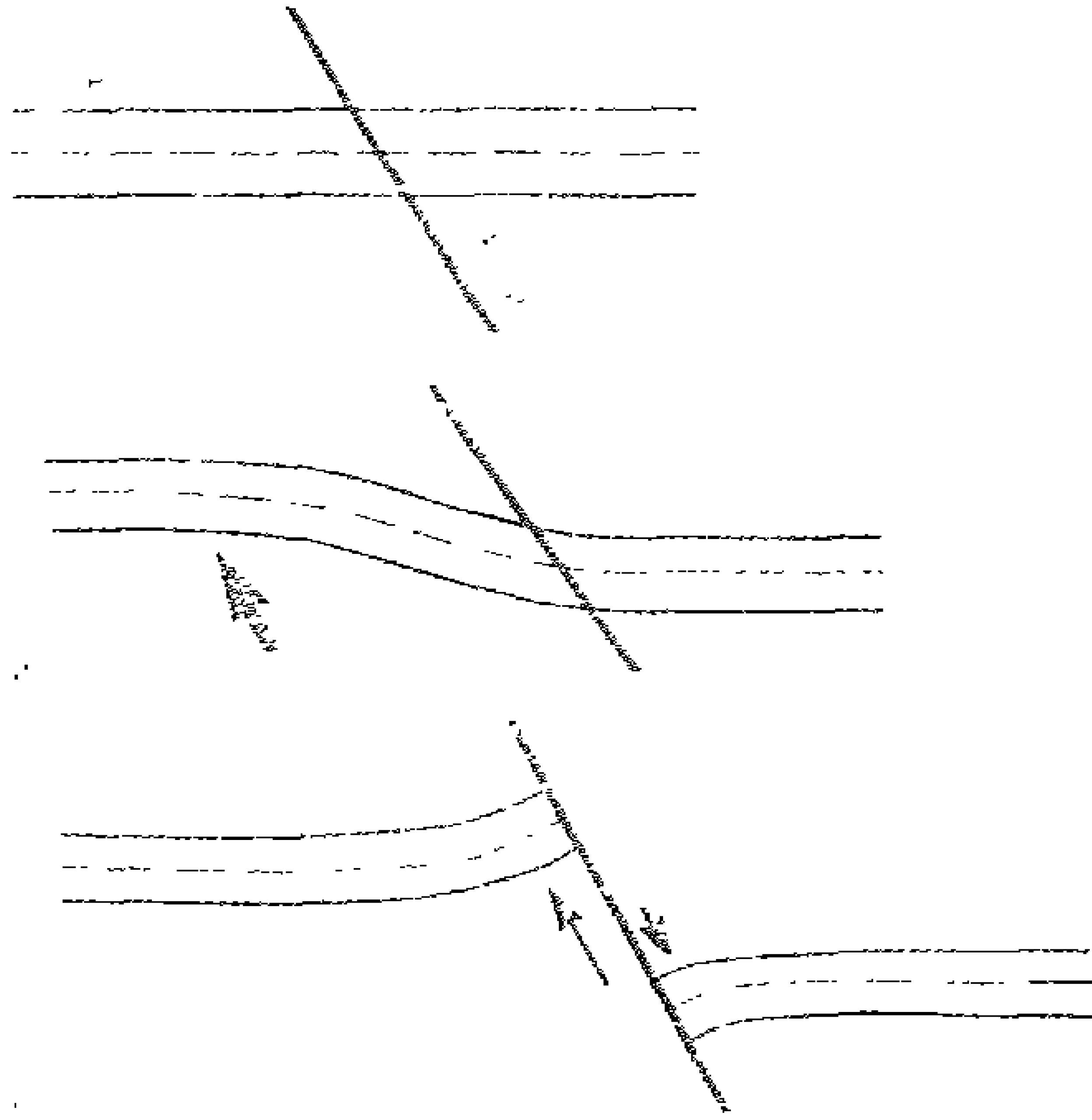




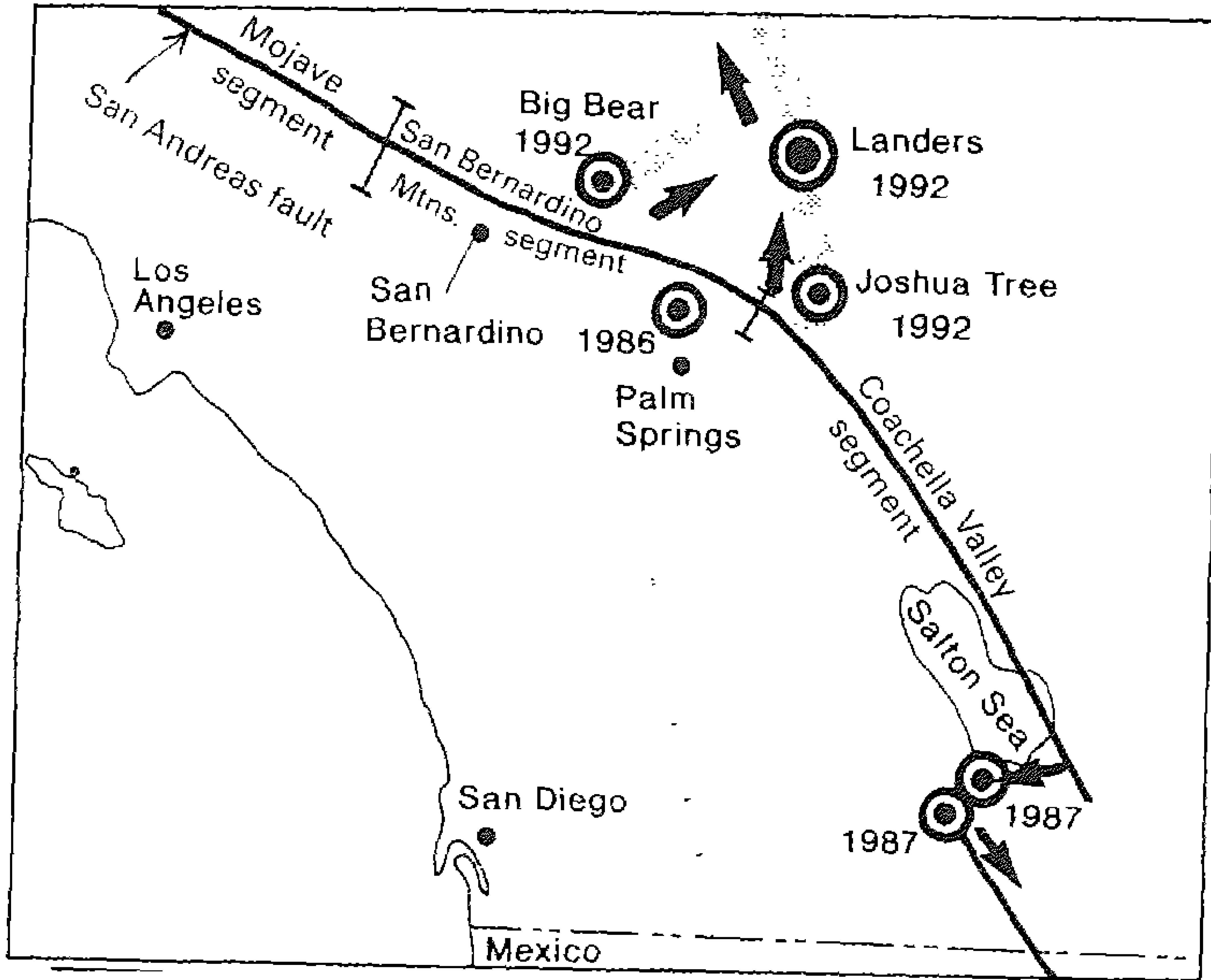
الشكل (٤-٣٣) القطاع الشمالى من صدع هايوارد يبدو أشبه شيء بصدع نوجيما الذى تسبب فى زلزال كوبى فى ١٩٩٥.



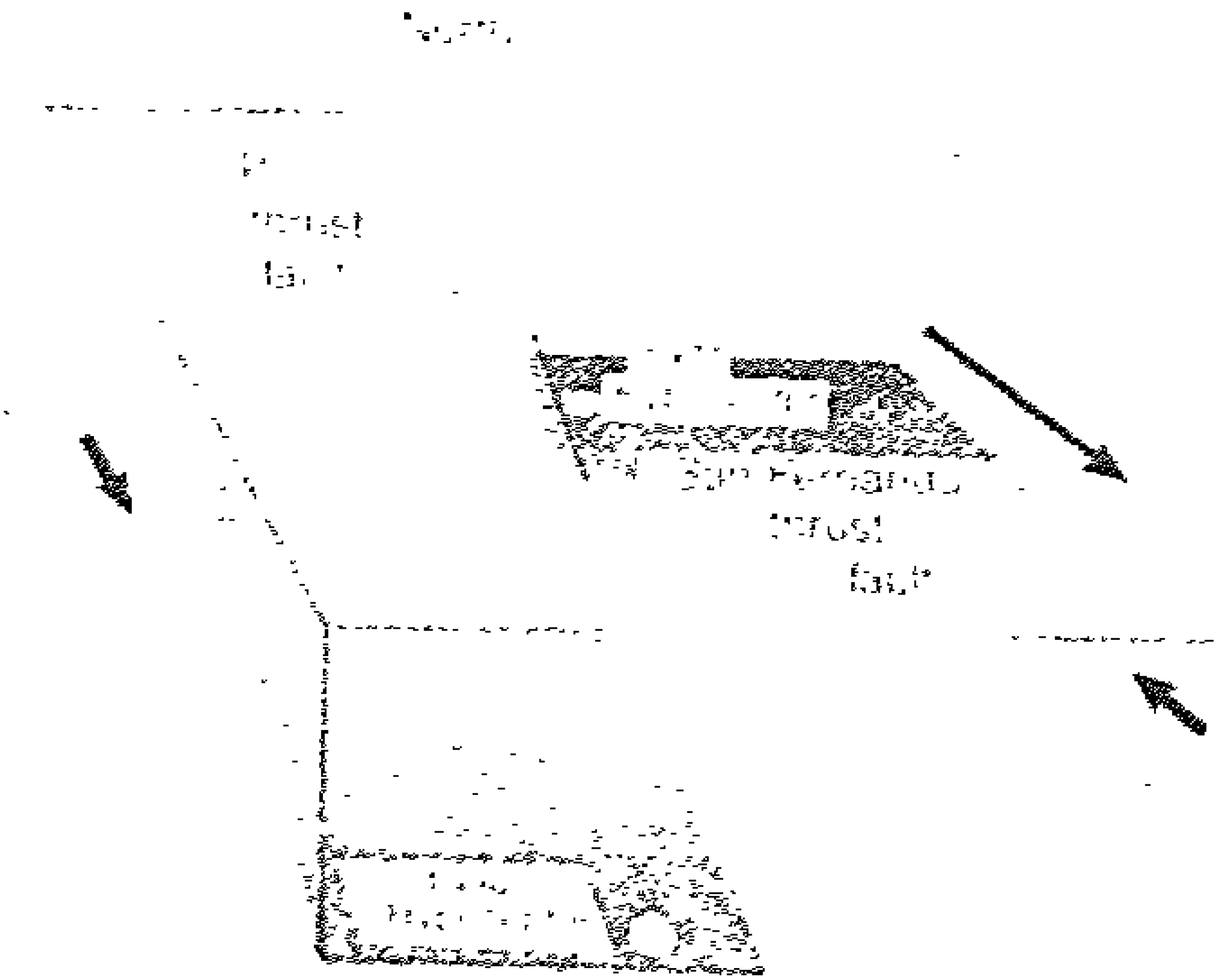
الشكل (٤-٣٤) دعامات جامدة ضخمة (لاحظ السيارة للمقارنة) فى الطريق العلوى السريع فى كوبى، انهارت بسبب نقص اللدانة (المرونة) رغم ضخامة حجمها.



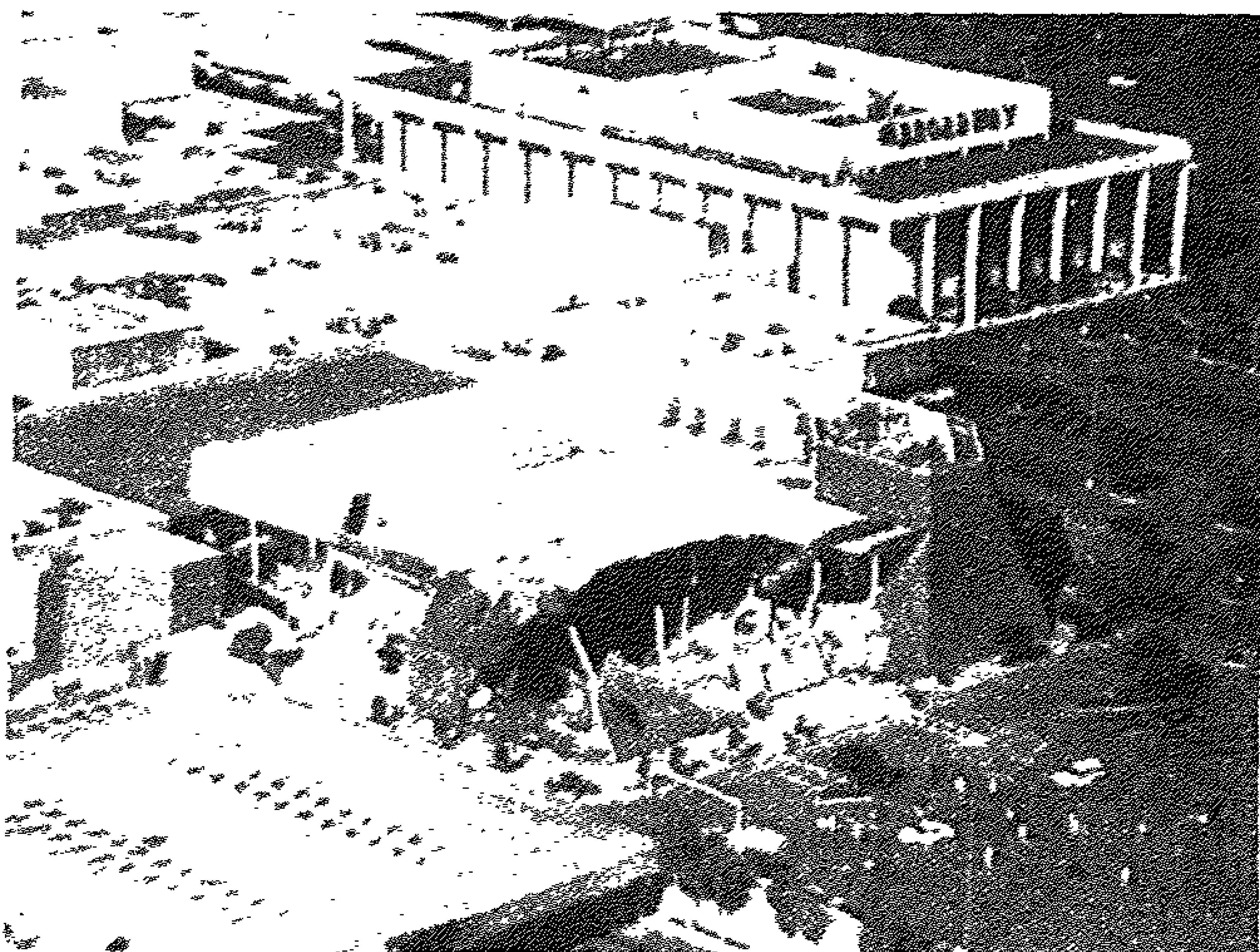
الشكل (٤-٣٥) نظرية الارتداد المرن. (أ) صدع نشيط وطريق على شكل خط إشارى. (ب) تشوه يحدث على طول الصدع ولكن احتكاك كتل الصخر على الصدع تؤخرالحركة. (جـ) وأخيرا، يزيد التشوه إلى الدرجة التى تمزق الصدع ويتباعد الجانبان عن بعضهما وربما يلتحمان فى الواقع ويتحركان عبر الصخور لمسافة أبعد.



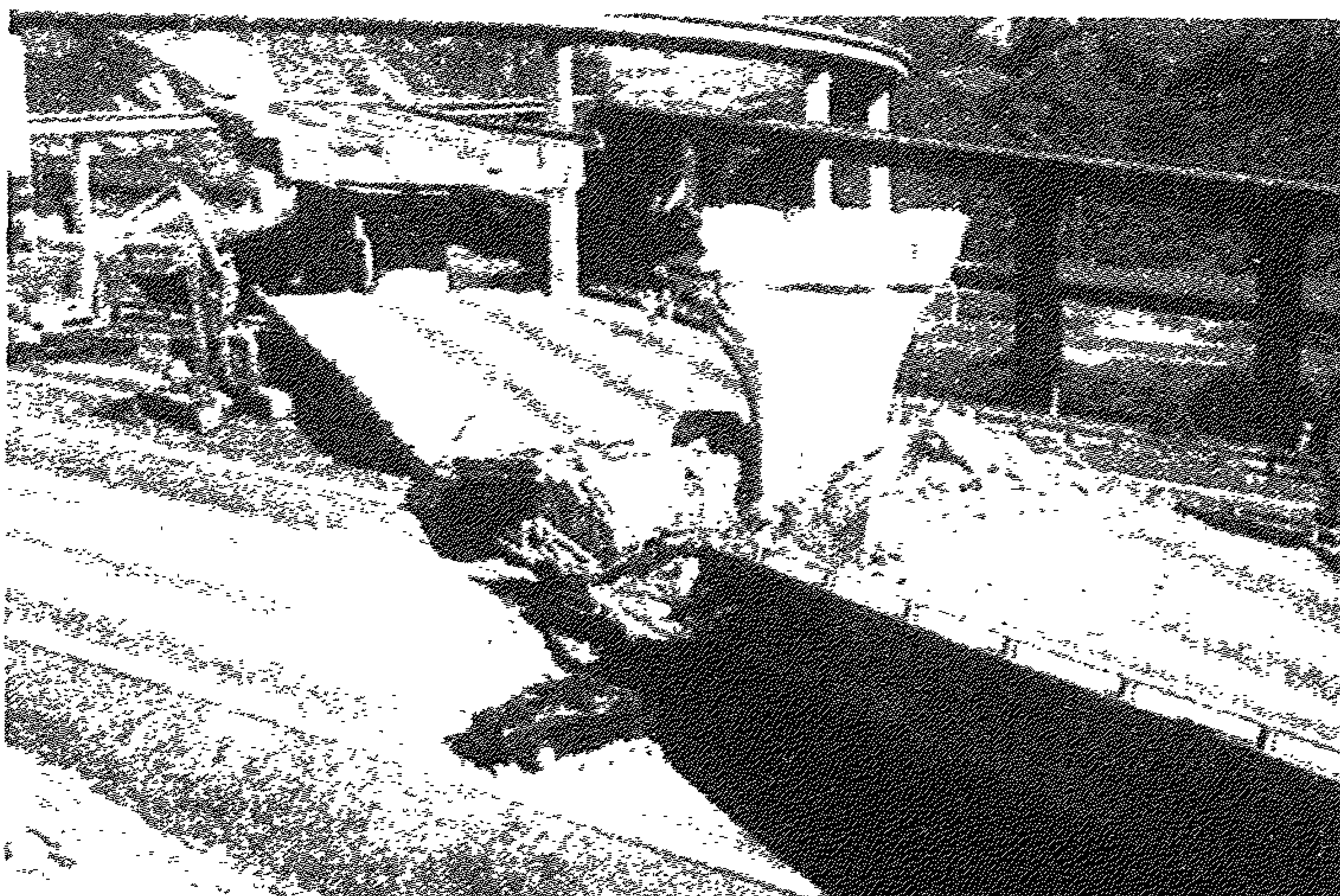
الشكل (٤-٣٦) خريطة للزلازل الكبرى بالقرب من الطرفين الشمالى والجنوبى لقطاع وادى كوتشيللا فى صدع سان آندرياس. واندفعت كتلة القشرة المثلثة الواقعة بالقرب من الطرف الشمالى إلى الشمال والخارج، مخففة من الضغوط التى تحفظ قطاع الصدع هذا من الحركة.



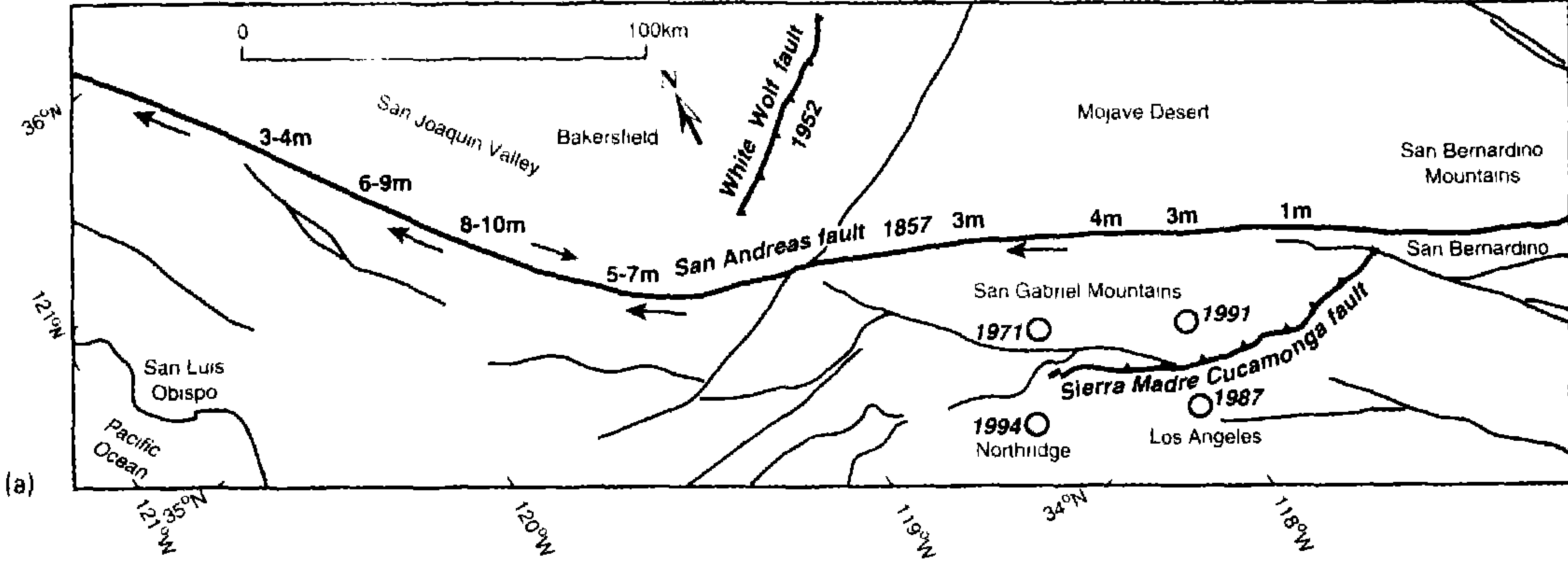
الشكل (٤-٣٧) قطاع مجسم لحركات صدع الدَّسْر الذى تسبب فى زلزالى سان فيرناندو فى عام ١٩٧١ ونورثريدج فى عام ١٩٩٤. وفى عام ١٩٩٤ تحرك صدع الدَّسْر الخفى فى بيكو ٣,٥ أمتار (١١,٥ قدما) لأعلى من بؤرة عمقها ١٩كم (١١,٨ ميلا)، وتعرضت المدن الواقعة فوق عاتق لوح الدسر المتحرك شمالا لهزة أرضية شديدة. وفى ١٩٧١ تحركت كتلة جنوبا فوق السطح المائل للشمال من صدع الدسر فى سان فيرناندو من بؤرة عمقها ١٥ كم (٩,٣ أميال).

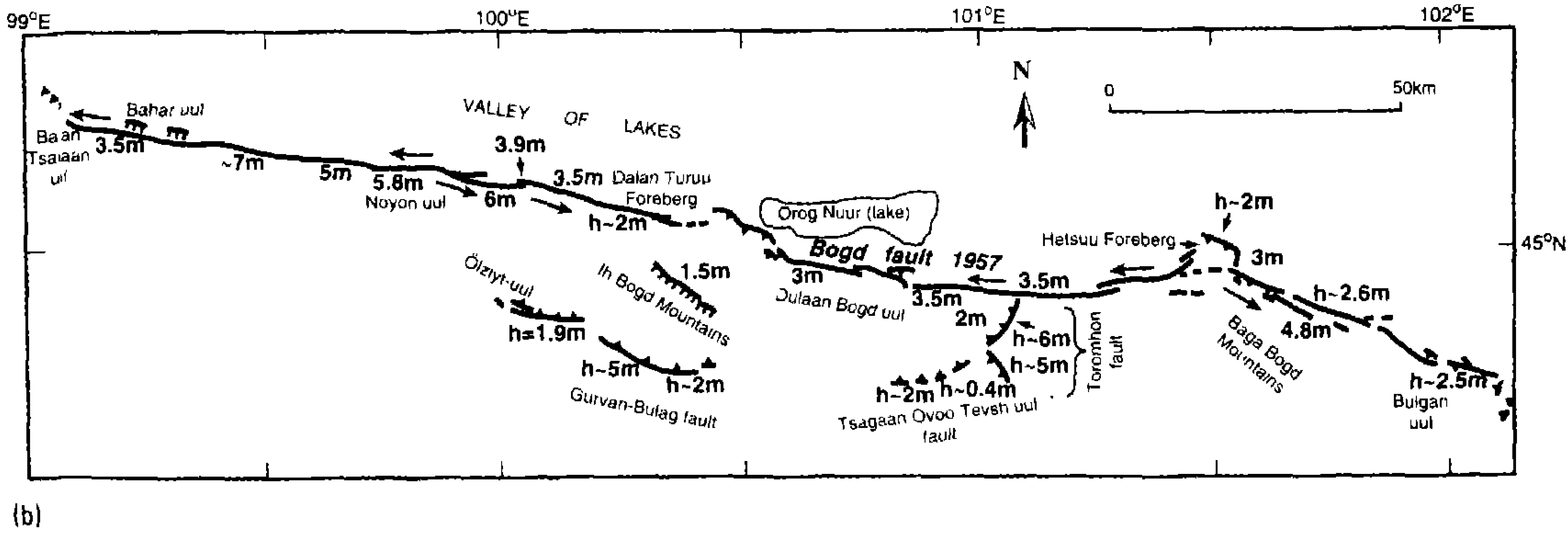


الشكل (٤-٣٨) انهيار مخزن إدارة بوللوكس فى السوق التجارى بنورثريدج. انهار الجدار الجامد من الطوب أثناء هزة أرضية.



الشكل (٤-٣٩) انهيار الطريق رقم٥ الموصل بين الولايات والطريق السريع رقم ١٤ بالولاية أثناء زلزال نورثريدج. إذ اهتزت الدعامات الرأسية وبحر الطريق الأفقى بترددات مختلفة فتفرقت عن بعضها.





الشكل (٤-٤٠) خريطة للصدوع في جنوبي كاليفورنيا (أ) وإقليم جوبي آلتاي في منغوليا (ب): (أ) لاحظ مقار التشققات على طول صدع سان آندرياس أثناء زلزال ١٨٥٧. فالدوائر السوداء مراكز سطحية لزلازل حديثة على صدوع الدسر. (ب) لاحظ التشققات على طول الصدوع في زلزال منغوليا في ١٩٥٧: إذ تحرك صدع المضرب المنزلق الرئيسي في نفس الوقت مع صدوع الدسر المرتبطة به.

جداول الفصل الرابع

الجدول ٤-١ أكبر الزلازل على سطح الأرض من ١٩٠٤ حتى ١٩٨٤.

Rank	Location	Year	M_w	Cause
1.	Chile	1960	9.5	Subduction—Nazca plate
2.	Alaska	1964	9.2	Subduction—Pacific plate
3.	Alaska	1957	9.1	Subduction—Pacific plate
4.	Kamchatka	1952	9.0	Subduction—Pacific plate
5.	Ecuador	1906	8.8	Subduction—Nazca plate
6.	Alaska	1965	8.7	Subduction—Pacific plate
7.	Assam	1950	8.6	Collision—India into Asia
8.	Banda Sea	1938	8.5	Subduction Pacific/ Indian plate
9.	Chile	1922	8.5	Subduction—Nazca plate
10.	Kuril Island	1963	8.5	Subduction—Pacific plate

مراجع الفصل الرابع

Suggested Readings and References نصوص ومراجع مقترحة

Anderson, J. G., Bodin, P., Brune, J. N., Prince, J., Singh, S. K., Quaas, R., and Onate, M. (1986). Strong ground motion from the Michoacan, Mexico, earthquake. *Science*, 233, 1043–49.

Atwater, T. (1989). Plate tectonic history of the northeast Pacific and western North America. *The Geology of North America* (Vol. N, 21–72). Boulder, Colo.: Geological Society of America.

Boraiko, A. A. (1986). Earthquake in Mexico. *National Geographic*, 169, 654–75.

California Division of Mines and Geology. (1990). The Loma Prieta (Santa Cruz Mountains), California earthquake of October 17, 1989. Special Publication 104.

Canby, T. Y. (1990). Earthquake. *National Geographic*, 177, 76–105.

Earthquake Engineering Research Institute (1996) Scenario for a Magnitude 7.0 Earthquake on the Hayward Fault. EERI HF-96.

Heaton, T. H., and Hartzell, S. H. (1987). Earthquake hazards on the Cascadia subduction zone. *Science*, 236, 162–68.

Iacopi, R. (1976). *Earthquake Country*. Menlo Park, Calif.: Lane Books.

Rial, J., Saltzman, N. G., and Ling, H. (1992). Earthquake-induced resonance in sedimentary basins. *American Scientist*, 80, 566–78.

U.S. Geological Survey. (1982). The Imperial Valley, California, earthquake of October 15, 1979. Professional Paper 1254.

U.S. Geological Survey. (1989). Lessons learned from the Loma Prieta, California, earthquake of October 17, 1989. Circular 1045.

U.S. Geological Survey. (1990). Probabilities of large earthquakes in the San Francisco Bay region, California. Circular 1053.

Wallace, R. E. ed. (1990). The San Andreas fault system, California. U.S. Geological Survey Professional Paper 1515.

Videos الفيديو

Killer Quake. (1994). NOVA/KCET-TV (60 min.).

The Day the Earth Shook. (1995). NOVA (55 min.).

The San Francisco Earthquake—October 17, 1989. (1989). ABC News (60 min.).

When the Bay Area Quakes. (1990). University of California–Berkeley (20 min.).

Earthquake. (1990). Nova/WGBH-Boston (55 min.).

Loma Prieta Earthquake. (1992). U.S. Geological Survey (53 min.).

Earthquake Country. (1987). United Kingdom Channel 4 (52 min.).

The American Experience: The Great San Francisco Earthquake. (1988). MOIRA Productions (60 min.).

Raging Planet—Earthquake. (1997). Discovery Channel (50 min.).

الفصل الخامس

مزيد من زلازل الولايات المتحدة وكندا

وفى الأخير كل شىء

شرق صدع سانت آندرياس

مصيره التوقف فجأة

ومن ثمَّ يسقط فى المحيط الأطلسى

مايكل جرانت، ١٩٨٢

اتحاد سان دييجو

يحظى الزلزال باهتمام هيئة المساحة الجيولوجية بالولايات المتحدة إذا كانت قوته ٦,٥ فأكثر، أو كان سببا فى الوفيات والخسائر الجديرة بالاهتمام. ففى عام ١٩٨٦ حدثت فى الولايات المتحدة ثمانية زلازل كبيرة. منها أربعة فى كاليفورنيا متعلقة بحافة الصدع التحويلى فى ألواح المحيط الهادى وأمريكا الشمالية، واثنان فى جزر آليوشيا فى آلاسكا فوق لوح المحيط الأطلنطى المنضوى. وعلى أية حال، ضربت كذلك هزات كبيرة أوهايو وإيداهو. وفى يوم ٣١يناير ١٩٨٦، شعر الناس بزلزال قوته ٥ بالقرب من بينزڤيل ومنتور فى شمال شرقى أوهايو فوق منطقة مساحتها ٢٢٠٠٠٠ كم^{2} شملت ١٣ ولاية وجزءًا من كندا. وتلقى ١٧ شخصا علاجا من الإصابات. وحدثت الوفيات الوحيدة بسبب الزلازل فى الولايات المتحدة فى يوم ١٢ مارس ١٩٨٦ فى منجم الجمعة السعيدة بالقرب من موللان فى إيداهو. وكان الزلزال

بقــوة ٢ فقط ولكن الهــزة أدت إلى انفجــار الصخور الفائقة الإجهاد؛ فقتلت أحد عمال المنجم.

ويتنامى الوعى بأن الزلازل المدمرة التى تنجم عنها وفيات تعتبر مشكلة عامة وليست مجرد حدث يحدث فى كاليفورنيا. ويمثل الشكل (٥-١) خريطة الولايات المتحدة توضح المراكز السطحية لزلازل القرن العشرين ذات القوة الأكبر من ٤,٥ . وقد تحدث الزلازل فى الريف (الجدول ٥-١).

ويوضح الشكل (٥-١) أن المراكز السطحية للزلازل تتجمع فى مناطق معينة. ويناقش هذا الفصل زلازل محددة وأسبابها فى الأقاليم التسعة؛ أربعة منها فى غربى الولايات المتحدة حيث لا يزال الناس يشعرون بتأثير نشاط الألواح التكتونية، وأربعة فى الوسط والشرق المستقرين (غير النشيطين تكتونيا) فى الولايات المتحدة، وأخيرا يتناول العلاقة بين الزلازل والبراكين فى هاواى.

غربى أمريكا الشمالية: الزلازل المتعلقة بالألواح التكتونية

تتسبب المساحات الهائلــة والأحجــام الضخمــة لألــواح المحيط الهادى وأمــريـكا الشـمـاليـة فى تجميــع هائــل وتصــريــف للطاقــة فى غربى الولايات المتحدة (الشكلان ٢-٧ ، و٤-٢). تـذكّــر أن لـوح أمــريـكا الشـمـاليــة لا يــزال متحـركا فى لـوح المحيط الهـادى بمعـدل ٢,٥ سـم/سـنة (١ بوصــة كل سنة) وأن حجمــا ضخمــا من لوح فــاراللون انضوى تحت أمريكا الشمالية (الشكل ٤-٢). كل هذا النشــاط رفــع غربــى الولايــات المتحـدة وأوجـد إقليمـا ممتدا من الجبال العاليـة والهضــاب المرتفعــة. وضوابط هذا النشــاط فى الألواح التكتـونيـة سـببت الزلازل من واشنطـون حتى نيو مكسيكو ومن مونتانا حتى كاليفورنيا ومواقع أخرى فى الغرب.

الشمال الغربى المطل على المحيط الهادى:

أوريجون وواشنطن وبريتيش كولومبيا

بوجيت ساوند فى واشنطون فى ١٩٤٩ و١٩٦٥ : جلب شهر أبريل فى السنوات الأخيرة صدمات زلزالية عنيفة لمدن بوجيت لولاندز (الشكل ٥-٢). تسببت فى اثنين من هذه الزلازل الكبيرة حركات الانضواء إلى أسفل ناحية الشرق للوح جوان دى فوكا. ففى الساعة ٥٥ر١ صباح يوم ١٣ أبريل ١٩٤٩ انبعثت ضربة عنيفة من حركة عمقها ٥٤ كم (٣٤ ميلا) تحت منطقة تاكوما أوليمبيا. كانت قوة الموجة السطحية ٧,١ (Ms) وراح ضحيتها ثمانية أشخاص. وكان من الممكن أن تكون أسوأ من ذلك نظرا إلى أنها حدثت أثناء النهار وأتلفت كثيرا من المدارس؛ ولكن لحسن الحظ وقعت فى أسبوع أجازة الربيع، حيث كانت المدارس خالية فى معظمها من التلاميذ.

وفى الساعة ٧,٢٨ من صباح يوم ٢٩ أبريل ١٩٦٥ ترنح اللوح ثانية ومال إلى أسفل وكان عمق الحركة فى هذه المرة ٦٠ كم (٣٧ ميلا) تحت منطقة تاكوما سييتل. قتلت هذه الموجة السطحية التى بلغت قوتها ٦,٥ (Ms) سبعة أشخاص. وبلغت جملة قيمة الدمار مقدرة بالدولار فى ١٩٨٤ حوالى ١٥٠مليون دولار فى ١٩٤٩ و٥٠ ميلون دولار فى ١٩٦٥. وفى كلا الحالتين تسبب السكن فى مناطق الرواسب الرخوة ومناطق الدكة الصناعية فى حدوث مشكلات كبرى فى المنشآت المقامة عليها أثناء الهزة؛ إذ وقعت خسائر كبيرة فى المبانى القديمة المبنية بالمون الرديئة والمبانى غير الوثيقة الرباط بين عناصرها الأفقية والرأسية. ولقيت المنازل ذات المستويات المتباينة أكثر من غيرها من الدمار؛ نظرا لتلقى أقسامها المختلفة اهتزازات ذات ترددات مختلفة؛ الأمر الذى مزقها وباعد بين أجزائها.

الزلازل فى المستقبل فى إقليم واشنطون

يتركز التأكيد على مخاطر الزلازل فى الشمال الغربى المطل على المحيط الهادى من ألواح الانضواء. فكلا الزلزالين الواقعين فى عامى ١٩٤٩ و١٩٦٥ كانت بؤرتهما

تقـع فى عمـق اللوح المنضوى. وعنـدما تصور الموجات الزلزالية إلى أعلى لأكثر من ٣٠ ميلا تفقد بعضا من طاقتها وبهذا تقل الهزة عند وسط الأرض. ولكن الزلازل التى تتراوح قوتـها بين ٦,٥ درجـة و٧ درجات فى صدع قـريب من السطح يشكل تهـديدا كبيرا، ويبدو الآن أن مثل هذه الزلازل تقع فى الإقليم. فلوح جوان دى فوكا المنضوى عـمـره ١٠-١٥ مليـون عـامـا فـقط وهـو دافئ وطاف بحيث يتـزاوج مع لوح أمـريكا الشمالية. ويتضح هذا التعشيق من صدوع المضرب المنزلق الواقعة فوق لوح جوان دى فوكا التى تقطع كذلك لوح أمريكا الشمالية الراكب.

ومنطقة صدع سييتل متجهة شرقا وغربا وتمتد على طول الجانب الجنوبى من الطريق السريع رقم ٩٠ المار بين الولايات ويمر بمدينة سييـتل وكذلك بموقع استـاد كينجدوم الرياضى القديم (الشكل ٥-٢). ويبلغ اتساع منطقة الصدع ٤-٦ كم (٥,٢-٣,٧ أميـال) وبه ثلاثة أو أكثر من الصدوع المعكوسـة التى تميل إلى الجنوب. وحدثت بالصدع حركة كبيرة منذ حوالى ١١٠٠ سنة، تؤكدها الظواهر التالية: (١) ارتفع خط السـاحل السـابق عند ريسـتوريشـان بوينت حـوالى ٧ أمتـار (٢٣ قدما) فـوق خط المد الأعلى فى حـركة صدعيـة واحدة. وهذا الزلزال يبدو أن قـوته كانت فى أواسط العقد السـابع تزيد عدة أضعـاف عن زلزال الدورة الرياضـيـة العـالميـة فى ١٩٨٩ فى منطقة خليج سان فرنسيسكو. (٢) حدثت عدة انزلاقات أرضية كبيرة فى ذلك الوقت بما فيها تلك التى حملت الأشجار وهى فى وضع النمو إلى قـاع بحيرة واشنطون. ويقدّر عمر هذه الأشجار بتحديد الكربون - ١٤ فيها. (٣) تبين وجود رواسب سنامية عديدة فى الطبقات الرسوبية فى المنطقة. وتشير الكتل الخشبية وجذوع الأشجار التى حملتها ودفنتها هذه الموجات الهائلة إلى أن تاريخـها يتمـاثل مع هذه الفترة. (٤) ويظهر نفس التاريخ فى أعمار سـتة جلاميد صـخرية كبيـرة فى جبال أوليـمبيك. ويبدو أن هذه الجلاميد تحركت بفعل الزلزال. (٥) تكونت طبقات من الرواسب الخشنة فى قـاع بحيرة واشنطون بحركة انحدار وإعادة ترسيب الرواسب فى مياه أعمق.

وهذه الترسيبات المميزة (طبقة العكارات) يبدو أنها حدثت بفعل الزلزال ذاته. وبتأمل كل هذه العناصر مجتمعة يتضح أن منطقة بوجيت ساوند معرضـة لحركات صدوع كبرى تشق سطح الأرض الذى بنيت فوقه المدن.

ويقع جزء من سييتل فى حوض عمقه ١٠ كم (حوالى ٦ أميال) مملوء بالرواسب الرخوة التى تهتز بعنف أثناء الزلزال. ويتذكر سكان سييتل مخاطر زلزالهم فى يوم ٣ مايو ١٩٩٦ عندما ضرب زلزال قوته ٥,٤ شمال شرقى المدينة، والهزة التى أصابت وسط المدينة أصابت كذلك استاد كينجدام الذى كان غاصا بالمتفرجين فى مباراة الدورة السابعة بين مارينز سييتل وهنود كليفلاند مما أدى إلى تأجيل المباراة. وحاول مدير فريق مارينز سييتل أن يتخذ الزلزال ذريعة لفسخ عقد إيجار استاد كينجدام. وعندما يحدث الزلزال الكبير التالى (قوته أكبر من ٦,٥) فى صدع سييتل يتسبب فى مستويات مذهلة من الخسائر فى الأرواح والأموال.

غربى الحوض الكبير: شرقى كاليفورنيا وغربى نيفادا

وادى أووين فى كاليفورنيا فى ١٨٧٢. كان عالم الطبيعة المعروف جون ميور فى مقصورته بوادى يوسمايت، وحينئذ:

> فى الساعة الثانية والنصف من صباح ليلة قمراء من شهر مارس، أيقظنى زلزال هائل، ونظرا إلى أننى لم أتعرض لعاصفة من هذا النوع، فإن حركة الرعشة الغريبة لا يمكن تجاهلها، فهرولت خارجا من مقصورتى، وأنا مسرور وخائف فى نفس الوقت وصِحْت، «يا لك من زلزال نبيل!» وأنا واثق من أننى سوف أتعلم شيئاً جديدا.
>
> وكانت الهزات عنيفة ومتنوعة وتعاقبت بسرعة حتى تعين علىّ أن أحفظ توازنى فى السير بعناية وكأننى أسير على سطح سفينة تتقاذفها الأمواج، وبدا لى من المستحيل أن تنجو جروف الوادى من التمزق. وخشيت بالذات أن تهتز الصخرة الحارسة ذات الواجهة الملساء التى تقف كالبرج فوق مقصورتى وأن تسقط؛ فلجأت آويا إلى خلف شجرة صنوبر صفراء ضخمة تعصمنى من

الشذرات التى يمكن أن تتناثر من الجلمود. وما هـى إلا دقيقـة أو اثنتين حتى اشتدت الهزات وصارت أعنف - واختلط ومض الصخور المندفعة أفقيا بالشقوق الملتوية والانحدارات والانفجارات والضربات العشوائية -كما لو كانت الطبيعة تدمر معبدها فى يوسمايت ثم تستعد لبناء أفضل منه.

فماذا حدث فى يوم ٢٦ مارس عام ١٨٧٢؟ انطلقت منطقة الصدع فى الجانب الغربى من وادى أووين على طول ١٦٠ كم (١٠٠ ميل). وهذا هو ثالث أطول الشقوق فى الصدوع فى تاريخ كاليفورنيا (الشكل ٥-٣). واليوم يمر الطريق السريع رقم ٣٩٥ فى اتجاه الشمال - الجنوب تماما على طول الصدوع. فالمنطقة التى تصدعت فى عام ١٨٧٢ يبلغ اتساعها ١٥ كم (١٠أميال) وبها هبوط عمودى (تصدع عادى) قدره ٧ أمتار (٢٣ قدما) وتفريعات أفقية (يمينية جانبية) حتى ٥ أمتار (١٦ قدما). وكان المركز السطحى يقع بالقرب من مدينة لون باين، حيث قتل ٢٧ شخصا يمثلون حوالى ١٠٪ من مجموع السكان عند انهيار منازلهم المبنية بقوالب الطين الجاف والأحجار. وتقدر قوة الزلزال من ٧,٨ حتى ٨ . ولهذا فإن الزلازل الكبرى تقع بعيدا عن منطقة الساحل وصدع سان أندرياس.

طبيعة الزلازل غربى الحوض الكبير. يمر حزام الزلازل هذا فى شرقى كاليفورنيا وغربى نيفادا وله خط مميز من المراكز السطحية (الشكل ٥-١) والصدوع (الشكل ٥-٤). وفي الزمن التاريخى تقع الزلازل بمعدل واحد قوته حوالى ٦ كل عقد وواحد قوته حوالى ٧ كل ٢٧ عاما. فلماذا كل هذه الزلازل؟ ففى ٣٠ مليون سنة الأخيرة اتسع الإقليم الواقع بين سيرا نيفادا الشرقية فى كاليفورنيا وجبهة جبل واساتش فى وسط يوتاه فى اتجاه شرقى وغربى، لمسافة عدة مئات من الكيلومترات (الشكل ٥-٥). وهذه المنطقة الفسيحة تعرف بالحوض الكبير أو مقاطعة الحوض وسلسلة الجبال (الشكل ٤-١٧). وقد تضاعف عرض نيفادا تقريبا فى قلب المقاطعة الفسيحة. ويحدث حوالى ٢٠٪ من الحركة النسبية بين ألواح المحيط الهادى وأمريكا الشمالية فى مقاطعة *الحوض وسلسلة الجبال*. وتقوم حركات *التمدد المتباعدة* فى *الألواح التكتونية* بتوسيع المنطقة مخلِّفة العديد من سلاسل الجبال المتجهة شمالا وجنوبا والمائلة للخلف وتفصلها

أحواض هابطة مليئة بالرواسب (الشكل ٥-٥). ويحدث التمدد مصاحبا للتصدع العادى، وبهذا يتغلب الانفصال الرأسى على الانزلاق الأفقى.

وتحدث بعض الزلازل الكبرى فى الزمن التاريخى فى القطاع الغربى من مقاطعة الحوض وسلسلة الجبال (الشكل ٥-٤): (١) ففى يوم ٢ أكتوبر ١٩١٥ حدث زلزال كبير جنوبى مينيموكا فى وادى بليزانت فى نيفادا. شق هذا الزلزال وقوته ٧,٧ السطح لمسافة ٥٩ كم (٣٧ ميلا). وكان الانزلاق فى معظمه عموديا (عاديا) بإزاحة حتى ٥,٨ أمتار (١٩ قدما) (الشكل ٥-٦). وكانت لبعض أجناب الصدع مكونات لتفريعات يمينيه جانبية حتى ٢ مترين (٦,٥ أقدام). (٢) وفى يوم ٢١ ديسمبر ١٩٣٢ حدث زلزال قوته ٧,٣ بالقرب من جبل سيدار فى نيفادا شق الأرض لمسافة ٦١ كم (٣٨ ميلا). (٣) وكان عام ١٩٥٤ عام الزلازل الكبرى فى نيفادا. منها زلزال قوته ٦,٦ وقع فى يوم ٦ يوليو وزلزال قوته ٦,٩ فى يوم ٢٤ أغسطس بالقرب من فاللون وزلزالان قوتهما ٧,٣ و٦,٩ صدما وادى ديكسى فى يوم ١٦ ديسمبر. ويوضح الشكل (٥-٤) عدة ثغرات فى حزام الزلازل التاريخى. وربما حدثت مفاجآت لسكان هذه المنطقة ذات الثغرات الزلزالية.

الحزام بين الجبال فى يوتاه وإيداهو ويومينج ومونتانا

بحيرة هيجين فى مونتانا فى ١٩٥٩. تعتبر جبال روكى فى زمن الصيف منطقة جميلة. ففى ليلة قمراء فى ١٧ أغسطس ١٩٥٩ استقر المصيفون فى مخيماتهم فى منطقة المخيمات فى روك كريك عند سفوح الحوائط العليا فى منخفض وادى نهر ماديسون. ولكن فى الساعة ١١,٣٧ مساءً هبت ريح صرصر عاتية غريبة على الوادى بسرعة عالية؛ إذ تسبب انزلاق صخرى هائل فى هذه الرياح. وسقط من الحائط الجنوبى للوادى ٤٣ مليون ياردة مكعبة من الصخور انزلقت فى المنحدر الشديد عبر نهر ماديسون وتحركت حوالى ١٥٠ مترا (٥٠٠ قدم) إلى أعلى الحائط الشمالى (الشكل ٥-٧)؛ فدفنت ٢٦ مصيِّفا. ودفن الانزلاق الأرضى الهائل الوادى بعمق ٦٧ مترا (٢٢٠ قدما) وكوَّن سدا طبيعيا فاحتجز قدرا كبيرا من الماء فى بحيرة الزلزال.

فما سبب هذا الزلزال المدمر للحياة؟ فى بحيرة هيجين التى تقع مباشرة غربى المنتزه الوطنى بيللوستون تحرك صدعان شبه متوازيين (هيجين وريدكانيون) بفاصل زمنى بينهما قدره خمس ثوان بزلزالين قوة أحدهما ٦,٣ m_b وقوة الآخر ٧,٥ M_S (الشكل ٥-٨). وهذان الصدعان العاديان هبط جانباهما الجنوبى الغربى ٧ أمتار (٢٣ قدما) و ٧,٨ أمتار (٢٦ قدما) تحت أسطح الصدوع بميل ٤٥ حتى ٥٠ درجة إلى الجنوب الغربى وأسقطا كذلك الطرف الشمالى لبحيرة هيجين. وأيقظ الزلزال رئيس العمال فى سد بحيرة هيجين، فارتدى ملابسه وخرج ليلقى نظرة. فقال رئيس العمال هنجر فورد فى أقواله ما يلى:

> كان الغبار كثيفا لدرجة تحجب الرؤية. ولا يمكن التنفس إلا بصعوبة أو غير ذلك. وحجب الغبار القمر. وتوجهنا إلى مقياس النهر.... فبمجرد وصولنا إليه سمعنا زئيرا ورأينا هذا الحائط من الماء يتدفق فى النهر.... فظننا أن السد تدمر... ثم توجهنا إلى السد. وعندما وصلنا إليه تعذرت الرؤية كثيرا، ولكننى ذهبت إلى طرف السد ولم أر هناك إلا سوادا. فلم يكن هناك ماء. فلا ماء أمام السد على الإطلاق. ولم أكن أتصور ماذا يحدث. وعندئذ بدأ الغبار ينقشع وبدأ القمر يظهر قليلا. وحينئذ حضر الماء. وكان كله فى الطرف الآخر من البحيرة... ورجعنا إلى الخلف سريعا عندما سمعنا صوت الماء مقبلا إلينا. فقد سمعناه قبل أن نراه. وعندما عبر الماء فوق السد كان جدارا من الماء يبلغ ارتفاعه ثلاثة أو أربعة أقدام وتدفق كما لو كان لمدة ٢٠ دقيقة ولكنها لم تدم أكثر من ٥ أو عشر دقائق فقط. فلم يكن عندى إحساس بالوقت. فتدفق الماء لحظة ثم بدأ يهبط. ثم تبدد كل شىء، ولم يعد هناك ماء قط للمرة الثانية. وجفت البحيرة تماما على حسب رؤيتنا. وكل ما رأيناه خلف السد هو الظلام الدامس ثانية، ومرت فترة تبدو ١٠-١٥ دقيقة أتى بعدها الماء ثم تكرر الشىء ذاته ثانية.

كان رئيس العمال هنجر فورد شاهد عيان لمشهد الموجة العارمة فى البحيرة حيث تدفق الماء متأرجحا إلى الأمام وإلى الخلف لمدة ١١,٥ ساعة. وهذه الموجة المتأرجحة تشبه حوض الاستحمام المملوء بالماء عندما ترقد فيه وتنهض منه بسرعة ويتأرجح الماء فيه إلى الأمام وإلى الخلف. وسقط فى البحيرة مساحة كبيرة من اليابسة مقدارها يزيد عن ٥٠ ميلا مربعا على الجانب الشمالى من بحيرة هيجين من ارتفاع ١٠ أقدام. وما ترسب فى قاع البحيرة أدى إلى سلسلة هائلة من الأمواج العاتية المتأرجحة.

قمة بوراه فى إيداهو فى ١٩٨٣ بعد تمام الساعة ٧ من صباح يوم ٢٨ أكتوبر ١٩٨٣ انطلق صدع نهر لوست ريفر على عمق ١٦ كم (١٠ أميال) تحت السطح وانشق ٤٥, ٠ مترا (١,٥ قدما) أفقيا نحو الشمال الغربى و٢,٧ أمتار (٩ أقدام) رأسيا فى زلزال قوته ٧,٣ M_S (الشكلان ٥-٨ ، و٥-٩). وعندما انتهت حركة الصدع ارتفعت قمة بوراه وهى أعلى نقطة فى إيداهو ٣ر٠ مترا (١ قدما) وانخفض قاع وادى ثاوزاند سبرينجز عدة أقدام. وتسببت الهزة الأرضية فى أن يكون وادى ثاوزاند سبرينجز (الألف ينبوع) اسما على مسمى، إذ انبجست المياه الجوفية المضغوطة بالضغوط التى تحت سطح الأرض فى نوافير يصل ارتفاعها إلى ٣-٦ أمتار (١٠-٢٠ قدما). وانطلق الماء المضغوط على شكل بركان، قاذفا رواسب رملية تكوِّن مخروطات وتملأ فوهاتها بالماء.

الحزام الزلزالى بين الجبال. وتتجه منطقة الحزام الزلزالى بين الجبال نحو الشمال بطول ١,٥٠٠ كم (٩٣٠ ميلا) على الأقل وحوالى ١٠٠-٢٠٠ كم (٦٠-١٢٥ ميلا) بالعرض (الشكل ٥-٨). ويمتد الحزام على شكل قوس من جنوبى نيفادا وشمالى أريزونا حتى شمال غربى مونتانا. ويمر النشاط الزلزالى تماما بحدود الحوض الكبير مع هضبة كولورادو وسط وشمالى جبال روكى (الشكل ٥-٥). والواقع، أن الحزام الزلزالى هو الحد الشرقى لمقاطعة الحوض وسلسلة الجبال. والصدوع التى تعين الحدود على الجانب الشرقى للحوض الكبير تنحدر نحو الغرب بينما الصدوع التى تعين الحدود علي الجانب الغربى (فى شرقى كاليفورنيا وغربى نيفادا) تنحدر نحو الشرق. وتؤكد الزلازل أن هذا الجزء من العالم امتد وتباعد.

وفى الأزمنة التاريخية، تحدث الزلازل الكبيرة فى شرقى كاليفورنيا وغربى نيفادا فى الغرب وفى مونتانا وإيداهو فى الشرق ولكن ليس فى قطاعات طويلة من صدوع يوتاه، ويعيش حوالى ٧٥٪ من سكان يوتاه على مرأى من منحدرات جبهة واساتش البالغ طولها ٣٧٠ كم (٢٣٠ ميلا)، وهى منطقة الصدوع العادية التى تفصل الجبال عن الحوض الكبير (الشكل ٥-١٠٠). ولم يُبلغ أحد عن وقوع زلازل كبيرة على طول صدوع جبهة واساتش منذ وصول بريجهام يونج فى ١٨١٧. وفى عام ١٨٨٣ حذر عالم الجيولوجيا المعروف جى كى جيلبيرت قوم يوتاه بتهديد الزلزال لهم والمخاطر التى تحيق بمدينتهم فى مقاله **منبر سولت ليك**. وتوضح الصدوع الواضحة المعالم بجلاء احتمالات حدوث الزلازل (الشكل ٥-١١). فقطاعات الصدع الموضحة فى الشكل (٥-١٠) يعتبر كل منها قادرا على إحداث زلازل مثلما حدث فى بحيرة هيدجين وقمة بوراه. وفى ٦٠٠٠ سنة الأخيرة كان يحدث زلزال قوته ٦,٥ أو أكثر كل ٣٥٠ سنة فى أحد صدوع منطقة نظام واساتش. وتقع أجزاء من مدينة سولت ليك وبروفو وأوجدين فوق رواسب البحيرة الرخوة التى تهتز بعنف أثناء الزلازل الكبرى. ولم يتحرك قطاع الصدع القريب من مدينة بريجهام فى ٢٤٠٠ سنة الماضية؛ ولكنه مرشح لاحتمال حدوث زلزال كبير به.

أخدود ريوجراند فى نيومكسيكو وكولورادو وأقصى غربى تكساس ومكسيكو

يعتبر أخدود ريوجراند واحدا من أكبر الأخاديد القارية فى العالم. فهو سلسلة مترابطة غير متناسقة من الوديان الصدعية التى تمتد أكثر من ١,٠٠٠ كم (٦٢٠ ميلا) (الشكلان ٥-١٢ ، و٥-١٣). وهنا تسخن القشرة القارية وتتمدد من أسفل منها.. وتستجيب القشرة بالترقيق الذى يشمل الصدوع (العادية) التوسعية. وفى ٢٦ مليون سنة الأخيرة كان هناك حوالى ٨ كم (٥ أميال) من القشرة المتمددة بالقرب من آلبوكيرك ونيومكسيكو وبمعدل حوالى ٣ مم/سنة. والحركة السائدة على الصدوع الرأسية ومجموع التشققات ٩ كم (٥,٥ أميال). وحوض الأخدود عميق بشكل كبير فى بعض المناطق، ولكن معظم تضاريس الأرض الرأسية التى تكونت بفعل تفريعات الصدع قلت

بسبب الكميات الوفيرة من المواد البركانية والرواسب التى تدفقت فى الأخدود عبر ملايين السنين.

وقد جذب الحوض الطبوغرافى لوادى الأخدود نهرا كبيرا (ريوجراند)، أغرى المواطنين بالتالى للاستيطان قرب مياهه. ويشمل الاستيطان الآن آلبوكيرك وسوكورد ولاس كروسيز فى نيومكسيكو وإلباسو فى تكساس وسيوداد جواريز فى مكسيكو. وكانت الزلازل التاريخية ذات قوة صغيرة ومتوسطة فقط ولكن القشرة الأرضية القارية مستمرة فى الامتداد مهيئة بذلك فرصا حقيقية للزلازل الكبرى.

الزلازل داخل الألواح فى الوسط المستقر للولايات المتحدة

توضح خريطة المراكز السطحية للزلازل فى الولايات المتحدة (الشكل ٥-١) أن الثلث الغربى من البلاد مرتفع المستوى بسبب النشاط الزلزالى. ولكن هناك مجموعات من المراكز السطحية فى الوسط والشرق المستقرين فى الولايات المتحدة فى الأقاليم التى تقع داخل الألواح بعيدا عن حواف الألواح النشيطة. وليس فيها مراكز سطحية كبيرة، بل فيها بعض الزلازل الفردية التى تعتبر كبيرة.

نيومدريد فى ميسورى فى ١٨١١-١٨١٢

ضربت سلسلة متتابعة من الزلازل الجزء الأوسط النادر السكان من وادى نهر مسيسيبى فى زمن الحرب فى عام ١٨١٢. وفى الفترة ما بين ١٦ ديسمبر ١٨١١ و١٥ مارس ١٨١٢ سجل جيرد بروكس عالم الزلازل الهاوى فى لويسفيل فى كنتاكى ١,٨٧٤ زلزالا. صنف ثمانية منها بأنها عنيفة وعشرة أخرى بأنها شديدة جدا. وحدثت أكبر أربعة زلازل: فى ١٦ ديسمبر ١٨١١ (اثنان)، وفى ٢٣ يناير ١٨١٢ وفى ٧ فبراير ١٨١٢. وتحددت مواقع البؤرات تحت الأكداس السميكة من الرواسب حيث يلتقى نهر

مسيسيبى بنهر أوهايو عند الطرف الأعلى للمنحنى الكبير لنهر مسيسيبى (الشكل ٥-١٤). وهذه الزلازل الكبرى تسمى زلازل نيو مدريد التى استمدت اسمها من مدينة يسكنها ألف نسمة. ورغم أن قليلا من الناس قتلوا، فإن الدمار فى الأرض والمبانى فى نيومدريد دق ناقوس نهاية أهميتها بصفتها بوابة إلى الغرب.

ويروى أحد الشهود العيان رواية زلزال نيومدريد فيقول:

كانت الضوضاء مصحوبة بحركة الأرض كلها وتأرجحت بعنف كأمواج البحر، وهى تقذف الأشخاص بعيدا. وكانت الأمواج ترتفع عدة أقدام، وكادت تنفجر عند أعلى نقطة فيها؛ وتقذف كميات كبيرة من الرمال وأحيانا طَفلا صلصاليا من القار الأسود إلى ارتفاعات عالية وإلى أبعاد تصل إلى ٤٠ قدما وحتى إلى قمم الأشجار. وصاحب الانفجارات الأرضية وميض يشبه الانفجارات الغازية أو مرور التيار الكهربائى من سحابة إلى أخرى ولكن بدون لهب حارق. وكانت هناك غازات كبريتية جعلت الماء ملوثا وغير صالح للاستخدام. واكفهرت السماء بحيث بدت للبعض كأنها بخار كثيف حجب أشعة الشمس. وعند انفجار الأمواج تكونت شقوق كبيرة لم يلبث بعضها أن قفل ثانية بينما بلغت الشقوق الأخرى سعات مختلفة تصل إلى ٣٠ قدما وبأطوال مختلفة. وكانت هذه الشقوق متوازية بصفة عامة، ويتجه بعضها وليس كلها إلى الشمال وإلى الجنوب. وفى بعض الأحيان وبدلا من الشقوق الممتدة إلى مسافات لا بأس بها كانت هناك فجوات دائرية قطر الواحدة منها يتراوح بين خمسة أقدام وثلاثين قدما، تحيط بها رمال وطَفلة صلصالية من القار الأسود، احترقت فيما بعد وانبعثت منها رائحة كبريتية منفرة.

ويتكون الإقليم من رواسب سميكة من الرمال المتهايلة والطين المنقوع فى الماء رسَّبها نهر مسيسيبى. وهذه المواد المتهايلة زادت من شدة هزات الزلزال، وتدفقت

الرواسب الضعيفة مثل الماء، فانبجست كبراكين الرمال وارتجفت مثل الچيلي في مواقع أخرى. ولا يزال الكثير من الآثار البعيدة المدى في زلزال نيومدريد ماثلا للأعين في التضاريس الطبوغرافية. وهبطت منطقة طولها ٢٤٠ كم (١٥٠ ميلا) على طول نهر مسيسيبي في منطقة شديدة الانخفاض مكونة بحيرتين جديدتين: بحيرة سانت فرانسيس وطولها ٦٠ كم (٣٧ ميلا) وعرضها ١ كم (٠,٦٢ ميلا)، وبحيرة ريلفوت في تينيسي وطولها ٣٠ كم (١٩ ميلا) وعرضها ١١ كم (٧ أميال) وعمقها حتى ٧ أمتار (٢٣ قدما). وبحيرة ريلفوت الآن مأوى للطيور وتحتوي على الجذوع الرمادية لأشجار السرو الصنوبري التي غرقت منذ ١٨٥ عاما مضت، ولا تزال باقية كشاهد صامت على أحداث التشوه الأرضية في المنطقة (الشكل ٥-١٥). وتشمل المعالم الطبوغرافية الأخرى التي أحدثتها الزلازل: (١) الجروف الطويلة المنخفضة في الريف ومجاري الأنهار ذات الشلالات الجديدة التي يصل ارتفاعها إلى مترين (٧ أقدام)؛ (٢) القباب التي ارتفعت ٦ أمتار (٢٠ قدما) وبأطوال تصل إلى ٢٤ كم (١٥ ميلا)؛ (٣) المستنقعات السابقة التي ارتفعت وتحولت إلى تربة محمصة.

لم يشهد تاريخ الولايات المتحدة زلازل مثل زلازل نيو مدريد نظرا لعدد الزلازل الكبيرة ذات الفترات الزمنية المتقاربة وحجم المناطق التي شعرت بها (الشكل ٥-١٦). وشعرت بهذه الزلازل المناطق من كندا حتى خليج المكسيك، ومن جبال روكي حتى ساحل المحيط الأطلنطي؛ حيث توقفت الساعات ودقت الأجراس وتشرخ الجص. وهذه الزلازل العملاقة ليست حدثا غريبا؛ فالتاريخ الشفاهي للهنود الأمريكيين المحليين يبلغنا بأحداث مأساوية سابقة. وتدلنا التحاليل التكتونية الحديثة للرواسب والأخشاب على وقوع زلازل كبرى كذلك في الأعوام ٥٠٠ و٩٠٠ و١٣٠٠ و١٦٠٠ تقريبا.

فهل تعتبر أحجام المناطق التي شعرت بالزلازل في الشكل ٥-١٦ مؤشرا جيدا لقوة الزلزال؟ وهل كانت زلازل نيو مدريد أكبر بأضعاف المرات من زلزال سان فرنسيسكو في ١٩٠٦؟ ليس ذلك شرطا. فحجم المنطقة التي شعرت بالزلازل يتوقف على نوع الصخور التي اهتزت. فزلازل نيو مدريد هزت صخور الأساس الصلدة (عمرها أكثر من بليون سنة) داخل القارة؛ إذ دقت كالأجراس. وانتقلت الطاقة الزلزالية بعيدا وبكفاءة؛ بينما وقع زلزال سان فرنسيسكو في صخور أقصر عمرا ومشققة

تكتونيا بشكل يخمد سريعا طاقة الزلزال، بحيث تقتصر الهزة على منطقة أصغر. وكانت القوتان متساويتين فى زلزال نيو مدريد وزلزال سان فرنسيسكو.

وقدرت قوة الموجات الداخلية (m_b) فى زلازل نيو مدريد الأربعة ٧,٢ و٧,٠ و٧,١ و٧,٤ وقُدر عزم القوة فيها ٨,٢ و٧,٨ و٨,١ و٨,٣ (M_W). وعندما تعود الزلازل الكبيرة ثانية إلى الإقليم الأعلى لنهر مسيسيبى، كانت احتمالات الوفيات والدمار مذهلة (الشكل ٥-١٧): (١) فالمنطقة مكتظة بالسكان (مثل سانت لويس وممفيس)؛ (٢) ومعظم المبانى ليست مصممة لتحمل الزلازل الكبيرة؛ (٣) تضخم الرقعة الواسعة والسمك الكبير للرواسب الرخوة الهزات الزلزالية (تذكر أحداث مكسيكو سيتى فى ١٩٨٥ والدورة العالمية فى ١٩٨٩)؛ (٤) وتتعرض المساحات الواسعة جدا لهزات عنيفة، وتشمل الأضرار التى يحدثها زلزال قوته ٨ آلاف من الوفيات وخسائر تقدر بعشرات المليارات من الدولارات. فإذا كانت هناك أنباء سارة فهى انخفاض معدل تكرار هذه الزلازل العملاقة، وينبغى هنا أن نتعلم دروس التاريخ، فنبنى جميع الإنشاءات الحديثة فى الإقليم بحيث تتحمل الزلازل الكبرى.

والتهديد بالزلازل فى هذا الإقليم يشمل كذلك زلازل أصغر، فتحليل الخنادق التى تقطع الصدوع والطيات على ضوء علم الزلازل القديمة دعا هيئة المساحة الجيولوجية فى الولايات المتحدة إلى التنبؤ بنسبة ٩٠٪ من احتمال حدوث زلزال قوته ما بين ٦ حتى ٧ خلال ٥٠ عاما القادمة. تذكَّر أن زلزال نورثريدج فى ١٩٩٤ كانت قوته ٦,٧ وقتل فيه ٦١ شخصا وتسبب فى خسائر قدرها ٢٠ مليار دولار. ورغم قلة احتمال حدوث الزلازل فى وسط الولايات المتحدة. فإن أضرارها كبيرة.

والسؤال الوثيق الصلة بالموضوع يتعلق بأسباب هذه الزلازل. وحيث إن نيو مدريد تقع داخل القارة بعيدا عن حواف الألواح النشطة، فلماذا تحدث فيها مثل هذه الزلازل؟ والجواب لم يحسم بعد؛ ولكن النظرة إلى التاريخ الجيولوجى للإقليم تزودنا ببعض الأفكار.

أخدود ريلفوت فى ميسورى وأركانساس وتينيسى وكنتاكى وإيلينوى

يوضح الشكل (٥-١) أن المراكز السطحية للزلازل فى منطقة نيومدريد تصطف فى نظام مستطيل. ويوضح المنظر القريب فى الشكل (٥-١٤) أن المراكز السطحية للزلازل الكبيرة أيضا تصطف على طول وادى نهر مسيسيبى. وفى الشكل (٥-١٨) خريطة لجنوبى وشرقى الولايات المتحدة توضح توزيع رواسب السهل الساحلى - الرمال والطين التى رسبتها الأنهار التى نحتتها من اليابسة فى أمريكا الشمالية. ويمثل منحنى المسيسيبى أحد المعالم البارزة. فلماذا ترسبت هذه الرواسب بهذا البعد في قارة أمريكا الشمالية؟ ولماذا تتوزع الرواسب موازية للمراكز السطحية؟ فهل هى محض الصدفة التى جعلت نفس النظام الخطر يعاود الظهور من جديد؟ كلا. وهل هى محض الصدفة التى جعلت نهر مسيسيبى يتدفق على طول مجراه الحالى؟ كلا.

تحدد الدراسات التى أجريت للموجات الزلزالية والجاذبية والمغناطيسية شكل البناء الخطى فى صخور الأساس التى تقع تحت إقليم نيومدريد (الشكل ٥-١٩). وهناك منخفض متجها فى العمق إلى الشمال الشرقى يزيد طوله عن ٣٠٠ كم (١٩٠ ميلا) وعرضه حوالى ٧٠ كم (٤٣ ميلا). وهو خطى يتوازى جانباه تقريبا ويزيد عمقه عن صخور الأساس المحيطة به عن ٢ كم (١,٢ ميلا). وهو بإيجاز واد أخدودى قديم يعرف بأخدود ريلفوت، تكون منذ حوالى ٥٥٠ سنة مضت. وتشمل المعالم المشابهة له حاليا أخدود ريو جراند فى نيومكسيكو (الشكل ٥-١٣) ووادى أخدود (فالق) شرقى أفريقيا (الشكلان ٢-٢٤ ، و٢-٢٧). وامتلأ أخدود ريلفوت القديم بالصخور الرسوبية ثم غطى الإقليم بأسره طبقة ممتدة من الرواسب الحديثة (الشكل ٥-١٩). واليوم يقوم حوض المحيط الأطلنطى الذى يتوسع بدفع أمريكا الشمالية إلى الغرب والجنوب الغربى؛ ومن المرجح أن تنشط بعض الصدوع القديمة فى أخدود ريلفوت فتحدث زلازل فى الإقليم. فهل هذه الزلازل فريدة فى منطقة نيومدريد؟ أم أن الولايات المتحدة بها أخاديد أخرى ضعيفة فى العمق يمكن أن تثير الزلازل الكبرى بشدة؟

الأخاديد القديمة فى وسط الولايات المتحدة

كان قَدَرًا محتوما على جميع القارات أن تتمزق من أسفلها. فقد تشققت القارات ثم انجرفت وأعيد تجمعها فى نماذج مختلفة. وتتوقف أحيانا عملية الشق قبل انفصال القارة. ويوضح الشكل (٥-٢٠) ألسنة الأخاديد التى تكونت منذ ٢٢٠ حتى ١٨٠مليون سنة عندما تفصدت القارة الأم بنجايا. ثم تعاقبت ألسنة الأخاديد وتجمعت مكونة حوض المحيط الأطلنطى الحالى. وانهارت ألسنة الأخاديد الأخرى مخلفة وراءها مناطق ضعيفة خلال القارات. فأخدود ريلفوت الذى يشغله اليوم نهر مسيسيبى أخدود ضعيف معروف؛ يحيط بمنطقة المراكز السطحية للزلازل الكبيرة. والأخاديد الضعيفة الأخرى، منذ التواريخ القديمة للألواح التكتونية، توجد كذلك تحت سطح أمريكا الشمالية (الشكل ٥-٢١).

وتظل الأخاديد الضعيفة قائمة كمناطق ضعيفة ربما تعاود نشاطها بإجهادات لاحقة للألواح التكتونية فتولِّد الزلازل من جديد. ونظرا إلى أن الأخاديد الضعيفة مدفونة فى العمق فمن الصعب دراستها. ولكنها تثير أسئلة جوهرية. فما هو معدل تكرار زلازلها الكبيرة؟ فالفواصل الزمنية لتكرار الزلازل الكبرى يبدو أنها تتراوح بين بضع مئات حتى أكثر من ألف سنة. فما هو مقدار الزلزال الذى يمكن أن يحدث فى كل أخدود؟ فسلسلة زلازل نيومدريد تطرح علامة إشارية واضحة. فحوالى ٨٣٪ من الزلازل الكبرى التى حدثت فى وسط الولايات المتحدة تقع فى مواقع الأخاديد القديمة أو بالقرب منها.

وترتبط الأخاديد القديمة المدفونة فى الشكل (٥-٢١) بعلاقة متبادلة من نشاط مناطق الصدع فى السطح. وهناك عدة أمثلة: (١) يتوافق لسان سانت لويس مع منطقة صدع سانتا جينيفييف. (٢) ويغطى لسان جنوبى إنديانا بمنطقة صدع وادى واباش الذى يبدو متصلا بمنطقة نيومدريد. وتوحى زلازل ما قبل التاريخ التى سجلتها سجلات الرواسب بزلازل تعادل موجاتها الداخلية m_b ٦,٣ وأكثر من ٧. (٣) يطلق على أخدود رنى كريك اسم منطقة صدع رف كريك، ويبدو مستمرا تجاه الشرق باسم منطقة صدع رف كريك. وكشفت الخنادق التى حفرت عبر صدع رف كريك عن

السجلات الرسوبية لحركات الصدع المنعكس ذات الفروع ١,١ مترا (أكثر من ٣,٥ أقدام). (٤) يتوافق أخدود جنوبى أوكلاهوما مع نظام الصدع الأمامى لجبال ويشيتا. ورغم أن هذه المنطقة لا تولِّد زلازل حاليا، فإن سطح الأرض يؤكد احتمالات حدوث زلازل كبرى. وصدع ميرز يعتبر خطيرا فى نظر سكان كاليفورنيا، إذ يتجه شمالا ٦٣ درجة بغرب عبر جنوب غربى أوكلاهوما. ويبلغ ارتفاع حافة الصدع ٥ أمتار (١٦ قدما) وطوله ٢٧ كم (١٧ ميلا)، وله تفريعة يسارية جانبية تزيد عن التفريعة الرأسية من ٣ حتى ٥ أضعاف. وحدثت على الأقل تمزقات كبيرة فى الصدع فى الزمن الجيولوجى الحديث.

الزلازل داخل الألواح فى شرقى الولايات المتحدة

زلازل نيو إنجلاند

تحظى نيو إنجلاند بسجل طويل من الزلازل الكبيرة. ففى يوم ١١ يونيو ١٦٣٨ بعد مرور ١٨ عاما على رسو المسافرين إلى بلايموث فى ماساشوسيتس ضربهم زلزال كبير. قعقعت فيه الأطباق واهتزت المبانى وأثارت الرعب فى قلوب الأوروبيين الذين لم يألفوا الزلازل. ونظرا لقلة عدد المستوطنين كان من الصعب تحديد الموقع الدقيق لحركة الصدع التى ولَّدت هذا الزلزال. وعلى أية حال، فإن المركز السطحى المقترح يقع قبالة رأس آن؛ وتقدر شدته بمقياس ميركاللى حتى ٩.

وفى يوم ٩ نوفمبر ١٧٢٧ ضرب زلزال الساحل الشرقى من مين حتى ديلاوير. وكان المركز السطحى قريبا من نيوبيرى فى ماساشوسيتس (الشكل ٥-٢٢)، فأدت الهزة إلى سقوط المداخن والحوائط الحجرية وانهيار حوائط الطوابق السفلى. وهبطت بعض المرتفعات حتى صارت منخفضات رطبة، وارتفعت بعض المنخفضات الرطبة فصارت جافة تنبت الحشائش. وشاعت حالات الرمال الناعمة السوَّاخة أثناء الزلزال.

وقبل فجر يوم ١٨ نوفمبر ١٧٥٥ القارس البرودة بقليل اهتز الساحل الشرقى بأكمله من نوفاسكوتيا حتى جنوبى كارولاينا إثر زلزال بدأ قبالة الشاطئ عند رأس آن

فى ماساشوسيتس. وفى بوستون سقطت كثير من المداخن فجعل حطامها بعض الشوارع غير صالحة للمرور. وتقدر قوة الزلزال بحوالى ٦,٣، ولكن الهزة كانت من العنف بحيث وصف بعض شهود العيان من المواطنين الأرض بأنها تتدحرج مثل الأمواج فوق سطح البحر. حدث الزلزال بعد ١٧ يوما فقط من الزلازل الأسطورية فى لشبونة فى البرتغال فألهب حماس دعاة الهلاك والظلام من الوعاظ الذين اعتبروا الزلزال عقابا صارما نظير خطايا أهالى نيوإنجلاند.

ويُعْزَى كثير من هذه الزلازل إلى الصدوع التى تحد وديان الأخدود السابقة (الشكل ٥-٢٠). وربما كانت الصدوع القديمة نشطت فتسببت فى الانهيارات من وطأة الإجهادات الحالية. فهل يتوافر للصدوع التى تحد الأخدود احتمالات لنشاط زلزالى فى المستقبل؟ فالسجل التاريخى ليس طويلا بالقدر الذى يسمح بالإجابة الشافية عن هذا السؤال. ولكن، إذا كانت الإجابة بالإيجاب فإن طول المقاطعة الساحلية المطلة على المحيط الأطلنطى يمكن أن تتلقى هزات زلزالية كبيرة فى بعض الأحيان.

وعندما يقع الزلزال القادم بقوة ٦ أو أكثر فى شرقى الولايات المتحدة، فإن الدمار الناجم عنه يحتمل أن يكون أكثر نسبيا من نظيره الذى يقع فى الجزء الغربى من البلاد. ففى الشرق تنتقل حركة الزلزال فى الأرض بفاعلية أكثر فى الصخور القديمة الأكثر صلادة، ولهذا تقع الخسائر علي أوسع نطاق. ويجب كذلك وضع الآتى فى الاعتبار: (١) الكثافة السكانية فى الشرق، (٢) العدد الهائل من المبانى القديمة غير المصممة لتحمل الهزات الزلزالية، (٣) تركيز المنشآت الصناعية ومصادر توليد القوى بما فيها المفاعلات النووية.

زلزال وادى نهر سانت لورانس

شق نهر سانت لورانس هو الآخر مجراه الحالى بفعل لوح تكتونى قديم. ففى أواخر عصر ما قبل الكامبرى وباكورة عصر الباليوزى، أى منذ حوالى ٦٠٠-٥٠٠ مليون سنة امتد وادى الأخدود الكبير فى الإقليم (الشكل ٥-٢٢). وهذا الأخدود المدفون حاليا

يتوافق مع معظم الزلازل الكبيرة فى جنوب شرقى كندا. وعادة ما تبلغ قوة الزلازل فى وادى الأخدود ٧، إلا أن القارة القريبة التى ليس فيها أخاديد تبلغ قوة أكبر زلزال فيها ٥ فقط. وأكثر المناطق نشاطا على طول وادى نهر سانت لورانس يبلغ طولها ٨٠ كم (٥٠ ميلا) وعرضها ٣٥ كم (٢٢ ميلا) بالقرب من شارليفوا فى الشمال الشرقى من مدينة كويبيك. وفيها حدثت زلازل قوتها تتراوح من ٦ حتى ٧ فى السنوات ١٥٣٤ و١٦٦٣ و١٧٩١ و١٨٦٠ و١٨٧٠ و١٩٢٥. فلماذا يحدث هذا التركيز فى الزلازل الكبرى فى مثل هذه المنطقة الصغيرة نسبيا؟ كانت شارليفوا موقعا حدث فيه ارتطام أحد النيازك منذ حوالى ٣٥٠ مليون سنة؛ أسفر عن تشقق كثير فى المنطقة، شاملا الصدوع المقوسة. وهذه الشقوق ربما استعادت نشاطها اليوم تحت إجهادات تولَّدت من انفتاح حوض المحيط الأطلنطى.

نظرية الزلازل الكبرى فى نطاق الشقوق

أدت صعوبة تفسير أسباب الزلازل فى شرقى أمريكا الشمالية إلى ظهور نظرية بنيت على الصدوع التحويلية التى تفرع منها مركز انتشار وسط المحيط الأطلنطى. واستمرت الصدوع التحويلية تمتد نحو الشمال الغربى على شكل نطاقات شقوق تواصلت مع بعض نطاقات الزلازل على اليابسة (الشكل ٥-٢٣). فإذا استمرت نطاقات الشقوق فى الامتداد تحت قارة أمريكا الشمالية فقد تكون علامات ضعف خطية. وربما يحدث الانتشار الحالى نحو الغرب للوح شمالى الأطلنطى حركات تنجم عنها الزلازل فى نطاق الشقوق تحت القسم الشرقى من أمريكا الشمالية.

ويتواصل نطاق الشق فى نيوفاوندلاند فى العديد من الزلازل بما فيها زلزال ١٨ نوفمبر ١٩٢٩ فى جراند بانكسى. أحدث هذا الزلزال قبالة الشاطئ انزلاقا أرضيا عملاقا تحت الماء نتجت عنه موجات سنامية اجتاحت وأغرقت ٢٧ شخصا من سكان الساحل الجنوبى فى نيوفاوندلاند.

تكونت أعراف نيوإنجلاند البحرية من سلسلة من البراكين الخامدة المغمورة تحت الماء والممتدة تحت نيوإنجلاند وتواصلت مع المراكز السطحية فى رأس آن وحزام الزلازل الممتد إلى الشمال الغربى فى بوستون وفى أوتاوا فى كندا (الشكل ٥-١).

لاحظ أن نطاق الشق فى بليك يمتد خلال شارلستون والحزام الزلزالى فى جنوبى كارولاينا (الشكل ٥-٢٣).

شارلستون فى جنوبى كارولاينا فى ١٨٨٦

تقع شارلستون على امتداد خليج جميل، وهى مدينة جميلة تتميز بمبانيها الرائعة وشوارعها الفسيحة وحدائقها الجذابة. وساعد وجود الميناء على جعل المدينة مركزا تجاريا ثريا. ولكن شارلستون لها جانب آخر. ففى منتصف القرن التاسع عشر كانت موطنا للانفصاليين، انطلقت منها أول طلقة فى الحرب الأهلية فى مينائها بفورت سامتر فى يوم ١٢ إبريل ١٨٦١. وبعد أربع سنوات من انتهاء الحرب كانت شارلستون.

> مدينة الدمار والخراب وأنقاض البيوت المتهالكة والنساء الأرامل وأرصفة الموانئ العفنة والمستودعات المهجورة والمساحات الهائلة من الأراضى القاحلة التى يضرب فيها الصمت فتدعو إلى الرثاء.

ولكن ما إن حل منتصف العقد الثامن من القرن التاسع عشر حتى استعادت شارلستون موقعها كمركز للثروة والمبانى الجميلة والإنجازات الحضارية. وحتى الخسائر التى تكبدتها من فعل الإعصار الممطر الذى عصف بها فى عام ١٨٨٥ لم يكن حائلا دون استمرار تنمية المدينة. ثم جاء يوم ٣١ أغسطس ١٨٨٦ وهو يوم صيفى شديد الحرارة والرطوبة. ففى الساعة ٩,٥٠ مساء أفسد هدوء المساء الذى يفتقر إلى النسيم أكبر زلزال ضرب جبال آبالاش فى الزمن التاريخى. وأزهقت ستون ثانية للزلزال أرواح ستين نفسا، وما تبقى من المواطنين كان عليهم أن يتعاونوا على بناء المدينة. وكان حوالى ٩٠٪ من المبانى مدمرا أو تكبد خسائر فادحة (الشكل ٥-٢٤).

ويبدو أن الزلزال كانت قوة موجاته الداخلية ٦,٧ (m_b) والموجات السطحية ٧,٧ (M_S). ولم يحدث الزلزال تصدعا سطحيا؛ ولهذا، ربما حدثت حركة الصدع على عمق ٢٠ كم (١٢ ميلا). وتماثل القوة الكبيرة تمزقا طوله حوالى ٣٠ كم (١٩ ميلا)

واتساعا على سطح الصدع حوالى ١٩ كم (١٢ ميلا). وشعر الناس بالهزة على مساحة كبيرة جدا، وانتشرت الخسائر كذلك (الشكل ٥-٢٥). والمنطقة الكبيرة التى شعرت بالزلزال منطقة نمطية من شرقى الولايات المتحدة ويعزى اتساعها إلى طول فترة استمرار الموجات الزلزالية (مثل ثانية واحدة)، التى لا تتلاشى بسرعة مثل مثيلاتها فى غربى الولايات المتحدة. والصخور القارية العميقة قديمة وصلدة جيولوجيا، وتؤدى إلى جعل المنطقة ترن مثل الجرس وتنقل الموجات الزلزالية إلى مسافات بعيدة وعلى نطاق واسع.

فكيف يندر حدوث زلزال بهذاالحجم فى شارلستون؟ تدلنا الرواسب المكشوفة فى جدران الخنادق التى أفصحت عن التواريخ بالإشعاع الكربونى على أن ثلاثة زلازل أخرى على الأقل تماثل فى الحجم هذا الزلزال حدثت فى المنطقة فى ٣٠٠٠ حتى ٣٦٠٠ سنة الماضية. ولهذا فمن المحتمل حدوث زلازل كبيرة كل حوالى ١٠٠٠ سنة.

الزلازل وظاهرة البراكين فى هاواى

عندما يتأمل الإنسان المخاطر الطبيعية فى هاواى تتبادر إلى ذهنه ظاهرة البراكين. ولكن حركة الصهارة ربما تحدث الزلازل بما فيها الزلازل الكبيرة (الجدول ٥-٢). فعندما يسيل الصخر يتمدد حجمه وتتكسر الصخور الهشة القريبة وتخلى لها السبيل. والكسور المفاجئة وانزلاقات الصخور الهشة حركات صدعية تحدث الزلازل. وعندما تتحرك الصهارة فى الأعماق الضحلة تتولد عنها عادة مجموعات مستمرة تقريبا من الزلازل الصغيرة نسبيا تسمى بالهزات الصغيرة المتوافقة. ويوضح الشكل (٥-٢٦) أن الزلازل التى وقعت تحت بركان كيلويا فى معظمها زلازل قريبة من السطح.

كما تؤدى حركات الصهارة إلى تكوين تضاريس طبوغرافية كبيرة وزلازل أكبر تزيد قوتها على ٦ و٧. ويرتفع سطح الأرض عادة عند حقن الصهارة تحت سطح الأرض. ولكن سطح الأرض عادة ينخفض كذلك عند انسحاب الصهارة. ويوضح الشكل (٥-٢٧) بعض المنخفضات فى وديان كيلويا؛ وتصبح حوائط الوديان صدوعا عادية.

وكيلويا مدعمة من شمالها الغربى ببركان مونا لوا العملاق وبكتلة الجزيرة الكبيرة فى هاواى. وعلى أية حال، فعلى جانبها الجنوبى الشرقى يصير الدعم أقل؛ إذ تهبط كيلويا فى المحيط الهادى. وتتضافر كل من آثار حركة الصهارة تحت سطح الأرض التضاغطية أثناء الحقن والتوسعية أثناء التراجع مع سحب الجاذبية لتؤدى إلى حركات كبيرة على الصدوع العادية.

وفى يوم ٢٩ نوفمبر ١٩٧٥، تحرك فجأة أحد الصدوع العادية المائل نحو البحر فى زلزال قوة موجاته السطحية ٧,٢ Ms . وقع فى الساعة ٤,٤٨ صباحا عندما انزلقت كتلة كبيرة بحركة مقدارها ٦ أمتار (٢٠ قدما) نحو البحر و٣,٥ أمتار (١١,٥ قدما) إلى أسفل. وأحدثت حركة هذه الكتلة موجات سنامية فى البحر ارتفاعها ١٢ مترا (٤٠ قدما). وانتفض المصيفون النائمون على الشاطئ مذعورين بفعل الهزة الأرضية؛ بينما غرق الذين لم يلجئوا بسرعة إلى مأوى مرتفع يعصمهم من الموجات السنامية، وعددهم اثنان. ولهذه الحركة الصدعية أثر على الصهارة تحت السطح يماثل رج زجاجة شراب غازى مملوءة بالصودا - فالغازات المتسربة من الصهارة تنطلق بثورة ١٨ ساعة باعثة نوافير من الصهارة ترتفع حتى ٥٠ مترا (١٦٥ قدما).

موجز

تحدث الزلازل فى أمريكا الشمالية. ويقع معظمها فى الغرب على طول حواف الألواح النشيطة، ولكن الأقاليم الوسطى والشرقية كذلك تقع بها الزلازل - لا بمثل كثرتها بل بمثل حجمها.

ففى شمال غربى المحيط الهادى تنتقل الإجهادات إلى أعلى من الألواح المنضوية، مكونة صدوع مضرب منزلق تمزق السطح كما هو الحال فى سييتل.

ومقاطعات الحوض وسلسلة الجبال الواقعة بين شرقى كاليفورنيا ووسط يوتاه مناطق نشيطة فى الامتداد. فمثلا، تضاعف الاتساع شرقا وغربا فى نيفادا خلال ٣٠ مليون سنة الأخيرة. وتحتوى الصدوع العادية على معظم الامتداد، مطلقة زلازل قوتها حتى ٨.

وفى وسط الولايات المتحدة تبقى وديان الأخاديد القديمة بعد مراكز الانتشار المنهارة. والأخاديد القديمة اليوم مناطق ضعف يمكن أن تستعيد صدوعها نشاطاتها نظرا للآثار البعيدة المدى لتصادم ألواح انتشار المحيط الأطلنطى ولوح المحيط الهادى. فأخدود ريلفوت الذى يشغله الآن نهر مسيسيبى وقعت به زلازل فى عامى ١٨١١ و١٨١٢ يبلغ عزم قوتها ٨,٢ و٧,٨ و٨,١ و٨,٣ Mw وهناك وديان أخرى مرتبطة بالزلازل فى أمريكا الشمالية.

وتتكرر الزلازل ذات القوة حتى ٧ فى شارليڤوا فى كويبيك. وكان الإقليم قد تمزق بشدة بارتطام أحد الكويكبات القديمة، وتحركت ظاهريا الصخور المتشققة تحت إجهادات داخل الألواح المتحركة.

وتبدو الاتجاهات الخطية للزلازل على طول شرقى أمريكا الشمالية متواصلة مع الصدوع التحويلية فى سلسلة أعراف وسط المحيط الأطلنطى. وتعمل الصدوع التحويلية بعيدا عن مراكز الانتشار كمناطق تشقق. وربما كانت إعادة تفعيل هذه المناطق الضعيفة مسئولة عن الزلازل الكبرى التى تحدث فى شارلستون وجنوبى كارولاينا ونيو إنجلاند.

وحركة الصهارة تحت السطح فى هاواى تولِّد زلازل بالتمزيق الجبرى للصخور الهشة. وترتفع الأرض عندما تحقن الصهارة وتهبط عندما تزول الصهارة؛ وهذه الحركات الأرضية ربما كانت مفاجئة تتولَّد عنها الزلازل.

مصطلحات للمذاكرة

جلمود	avalanche
خليج – انحناء	embayment
أخدود ضعيف	failed rift
منطقة كسر	fracture zone
هزة صغيرة متوافقة	harmonic tremor
رمل ناعم سواخ	quicksand

منحدر شديد	scarp
أحد الأعراف البحرية	seamount
موجة متأرجحة فى بحيرة	seiche
عكارة	turbidite

أسئلة للمراجعة

١ – كيف تؤثر زيادة عمق البؤرة فى الهزات السطحية؟

٢ – ما هى أنواع الأدلة الدالة على الحركات الكبرى على الصدوع السطحية فى واشنطون؟

٣ – ما هى العمليات التكتونية المؤثرة على مقاطعات حوض وسلسلة الجبال من شرقى كاليفورنيا حتى يوتاه أثناء ٣٠ مليون سنة الأخيرة؟

٤ – ما هو نمط حركة الصدع التى توصِّف مقاطعات حوض وسلسلة الجبال؟ وما هى أقوى الزلازل التى حدثت فيها خلال هذا القرن؟

٥ – اشرح ما هى الموجة المتأرجحة فى البحيرة. وكيف تنشأ الموجة الصغيرة؟

٦ – فى الوسط المستقر للولايات المتحدة تحدث مجموعات من الزلازل فى مناطق معينة. وما هى السيطرة المحتملة على مواقع هذه الزلازل؟

٧ – متى وكيف تكوَّن أخدود ريلفوت؟ اشرح تاريخ الزلازل فيها. وماذا يخفيه المستقبل؟

٨ – ارسم خريطة واشرح كيف تُحدث مراكز الانتشار والصدوع التحويلية فى سلسلة أعراف وسط المحيط الأطلنطى زلازل فى مناطق شارلستون وجنوبى كارولاينا وبوستون.

٩ – اشرح بعض عمليات براكين هاواى التى تسبب الزلازل.

أسئلة لمزيد من التأمل

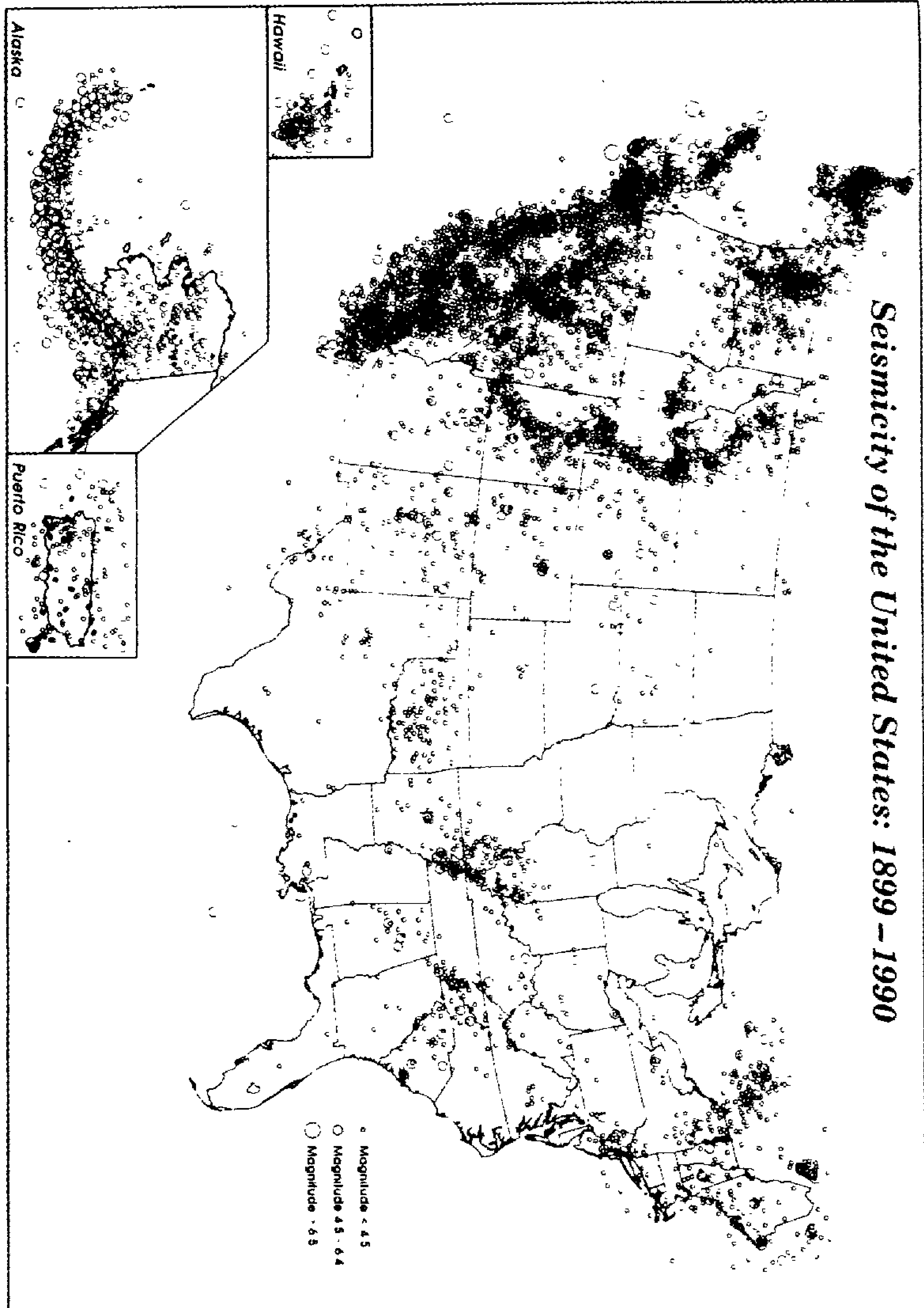
١ - يرى بعض النـــاس أن الزلازل تحــدث عــادة فى أوقــات مـعـينة من اليـوم. فهـل يعنــى ذلك شيئا؟ وهل هـناك نظام يختص بتوقيتات الزلازل نوقش فى الفصول ٢ و٣ و٤ و٥؟

٢- قيِّم مخاطر الزلزال الذى حدث فى مدينة سولت ليك.

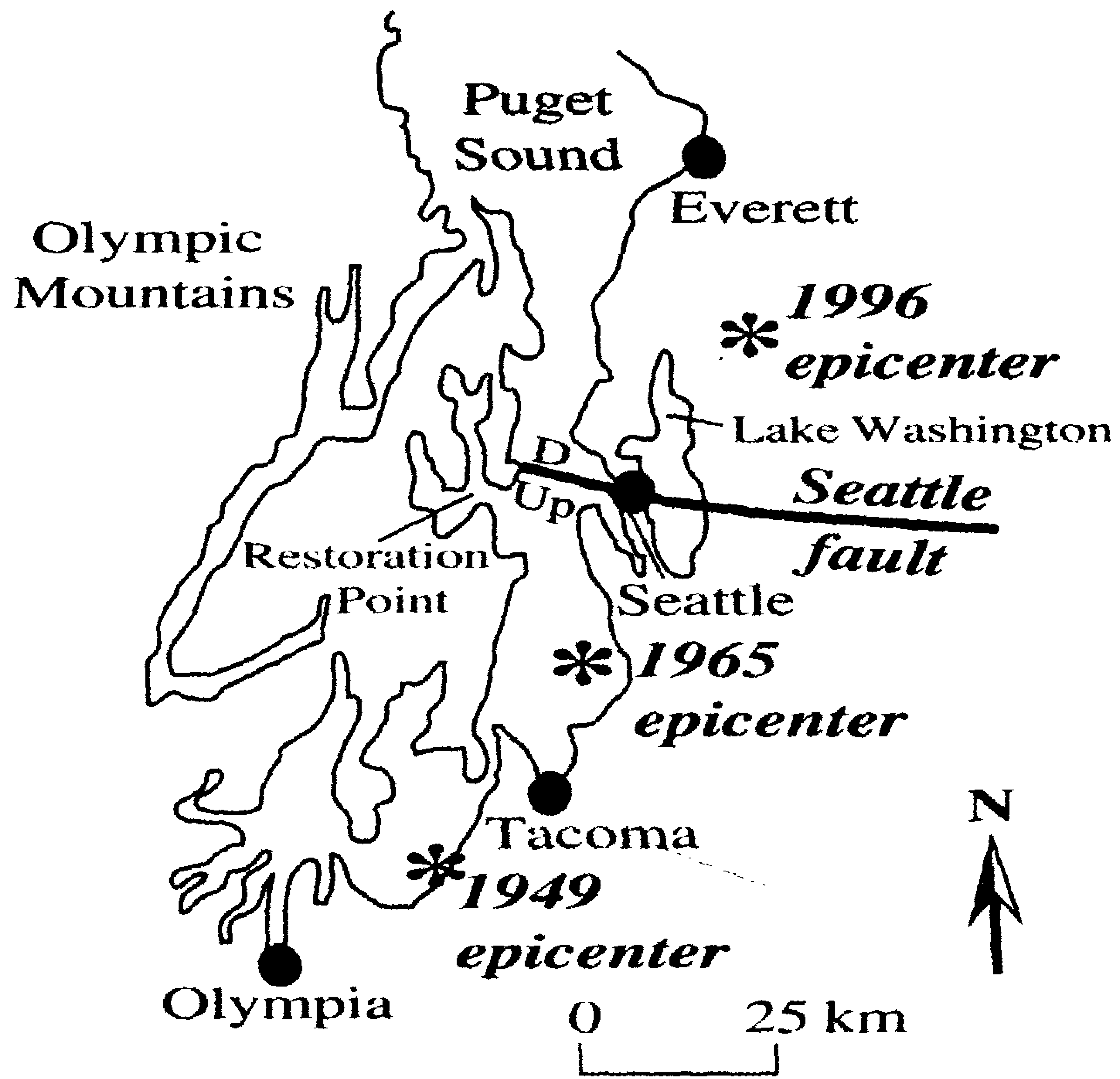
٣ - ما الذى يتحكم فى مسار أخدود ريوجراند فى نيومكسيكو؟ وهل هناك تهديد بالزلزال كذلك؟

٤ - قارن القدرة على تحمل الهزة الزلزالية فى مبانى وسط المدينة وفى الكبارى فى الساحل الغربى مقابل الساحل الشرقى فى الولايات المتحدة.

أشكال الفصل الخامس



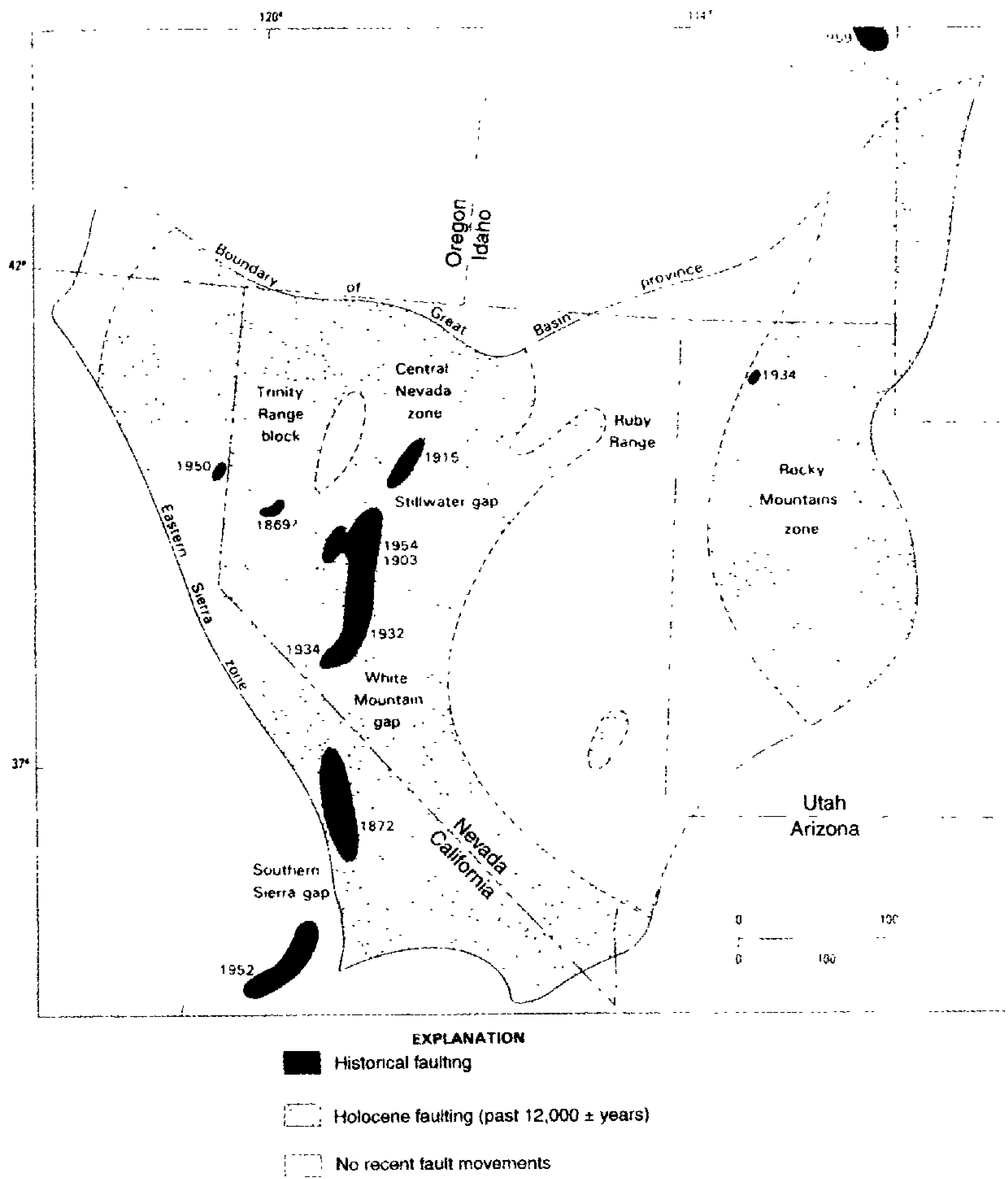
الشكل (٥-١) المراكز السطحية للزلازل في الولايات المتحدة وجنوبي كندا وشمالي المكسيك من عام ١٨٩٩ حتى عام ١٩٩٠.



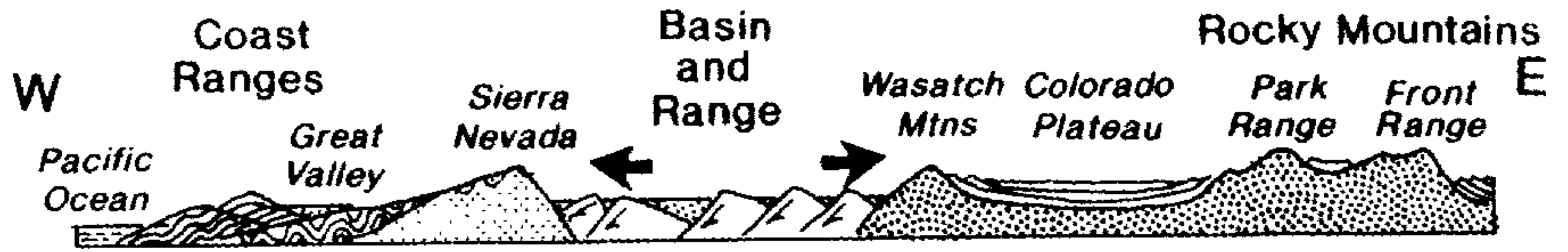
الشكل (٥-٢) خريطة منطقة بوجيت ساوند. يعني الحرف U فوق والحرف D تحت صدع سييتل.



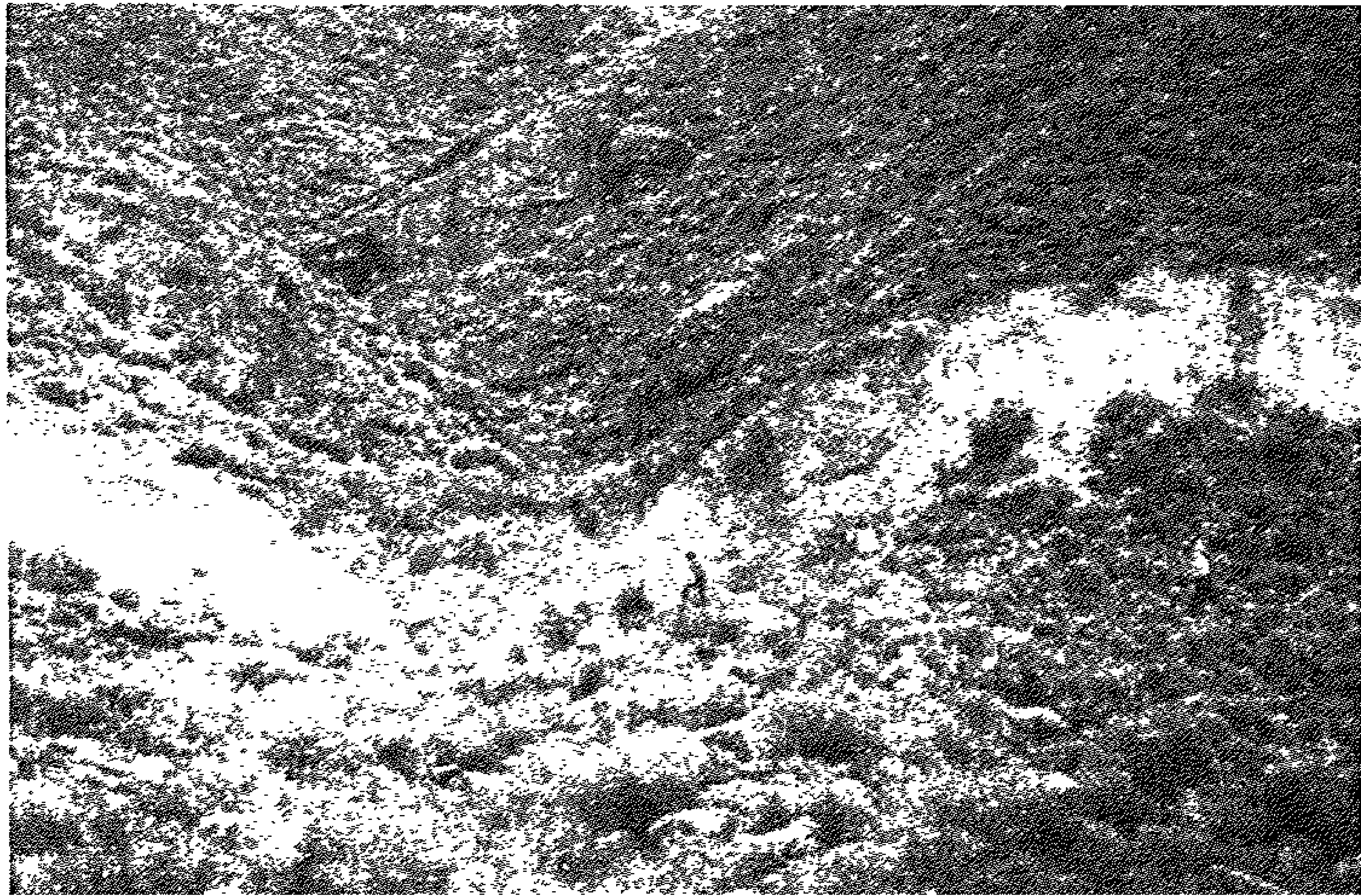
الشكل (٥-٣) منظر في شمالي وادي أووينز. وتفريعات الصدع شبه متوازية وإلى اليسار من الطريق السريع رقم ٣٩٥؛ لاحظ أن مدينة لون باين انخفضت. وتقع تلال آلاباما في يسار الوسط وسيرا نيفادا في أعلا اليسار.



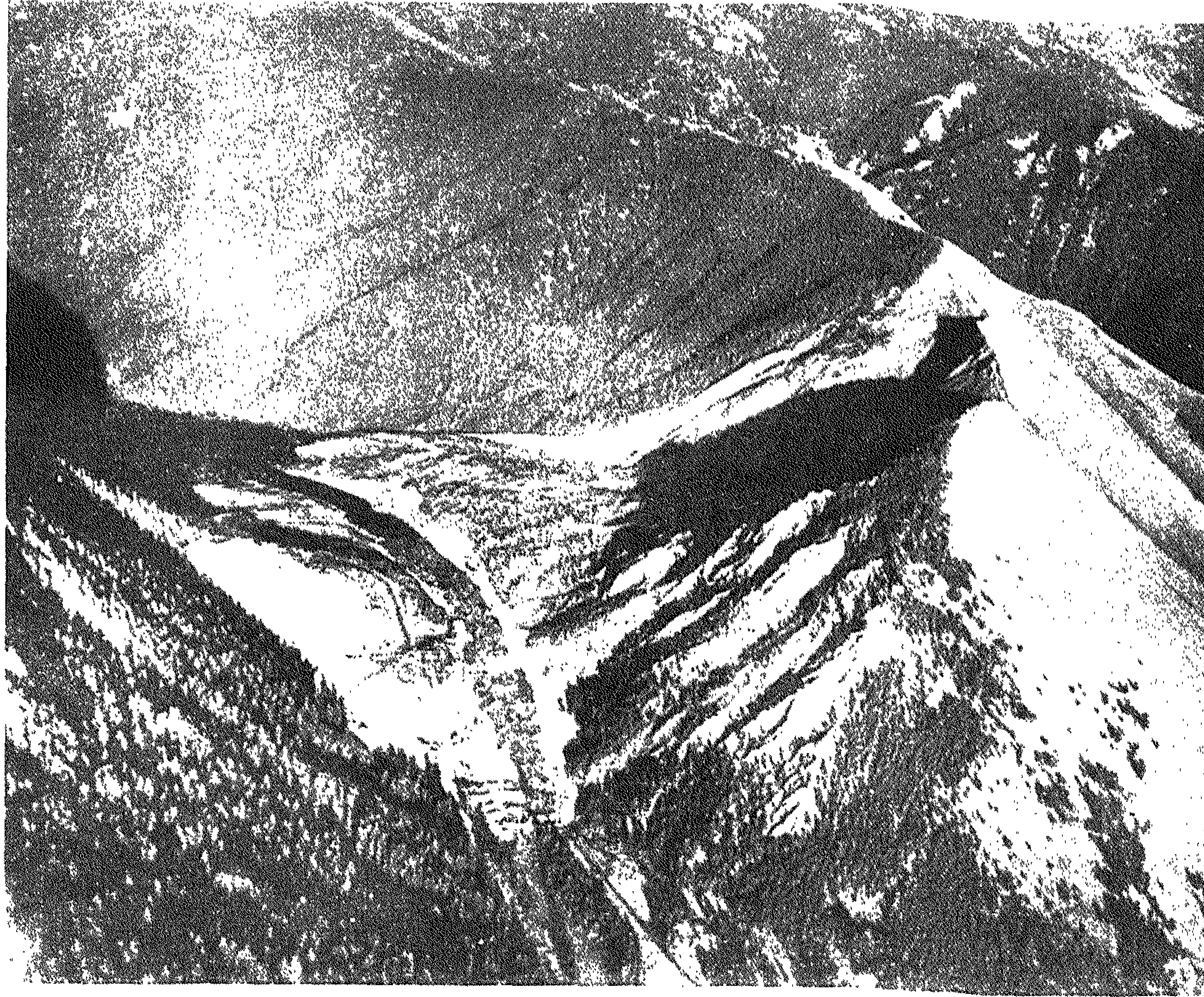
الشكل (٥-٤) خريطة عامة عن الصدوع التاريخية فى غربى الحوض الكبير.



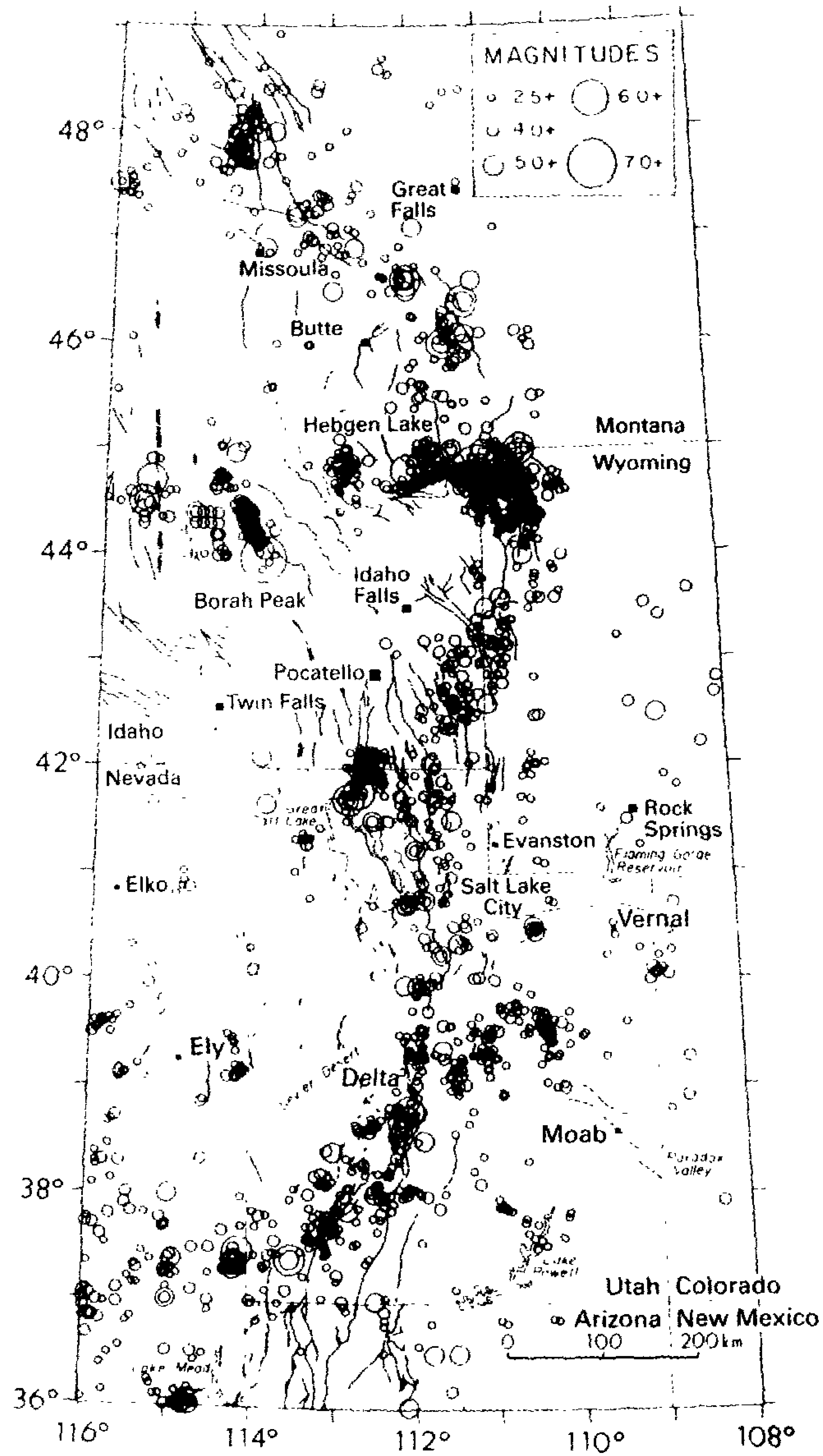
الشكل (٥-٥) مخطط لقطاع مقطعى متجها شرقا وغربا عبر غربى الولايات المتحدة. وتمتد مقاطعات الحوض وسلسلة الجبال إلى ضعف اتساعها الأصلى. وتسبب هذا الامتداد فى إيجاد صدوع عادية تولِّد الزلازل.



لشكل (٥-٦) جزء من منحدر الصدع تكوَّن فى زلزال عام ١٩١٥ فى وادى بليزانت فى نيفادا.



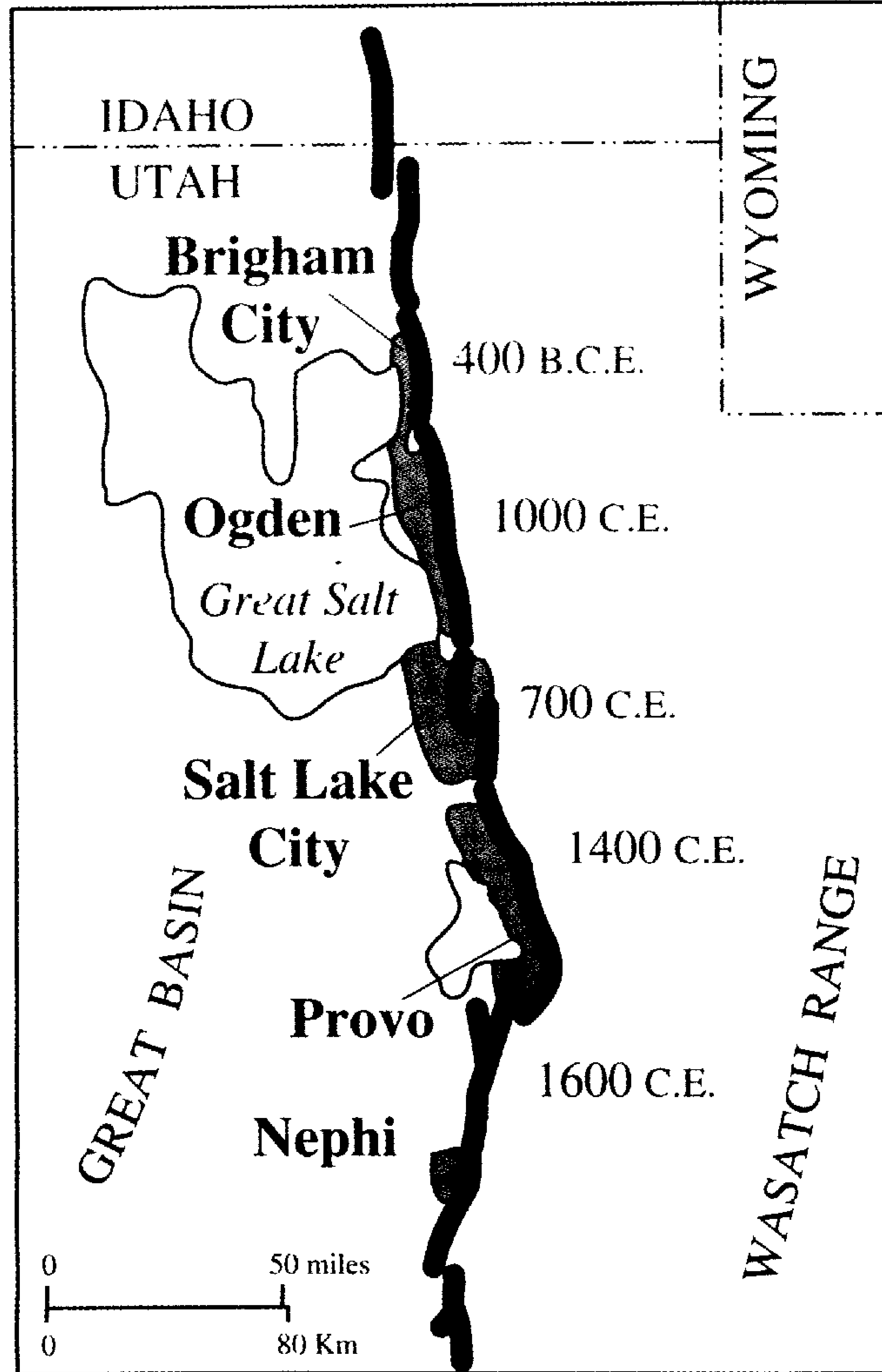
الشكل (٥-٧) الانزلاق الأرضي في وادي ماديسون الضيق والبحيرة الناجمة عنه بسبب زلزال ١٧ أغسطس ١٩٥٩.



الشكل (٥-٨) مراكز سطحية للزلازل فى حزام الزلازل الواقع بين الجبال من عام ١٩٠٠ حتى عام ١٩٨٥.



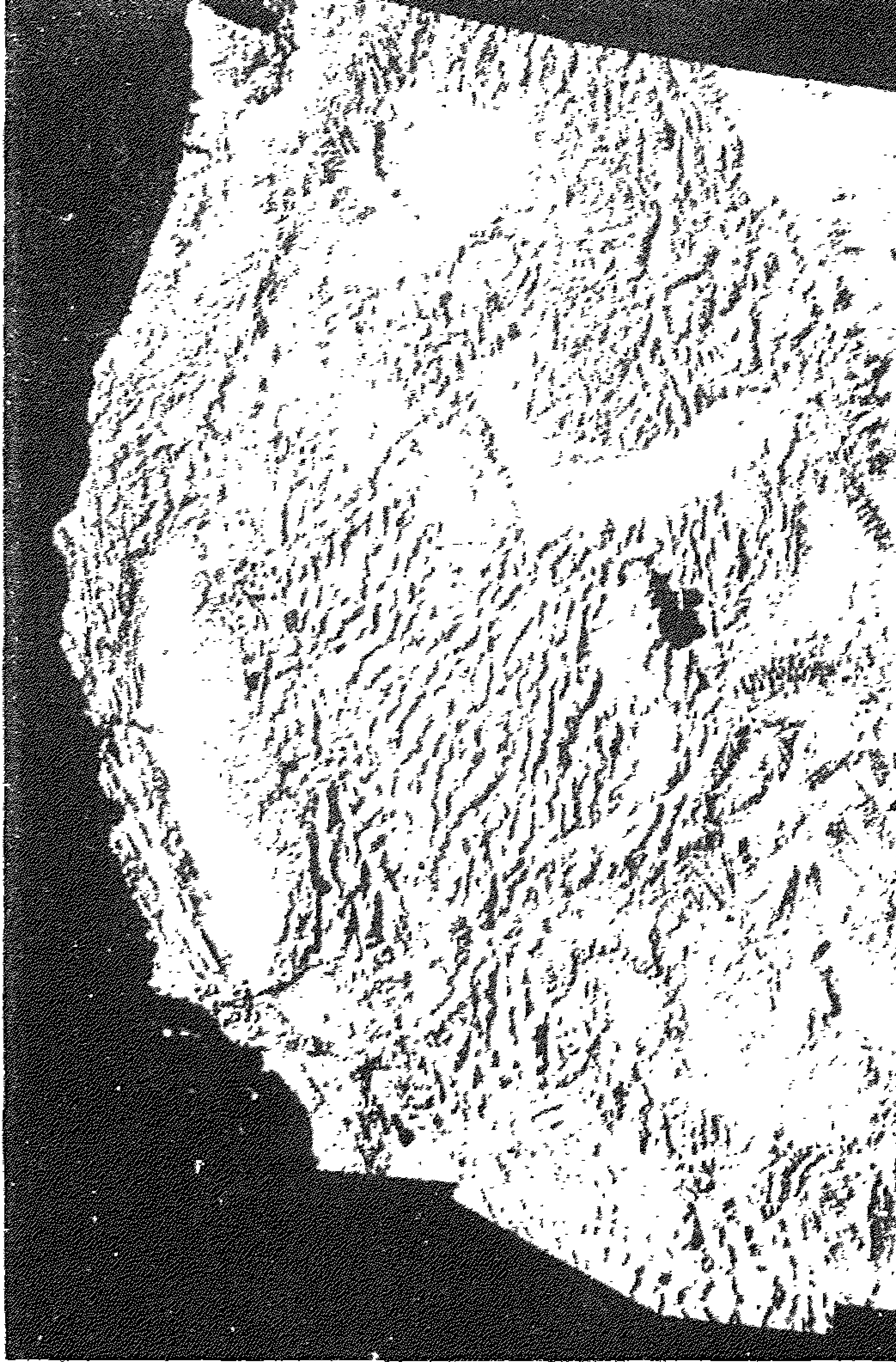
الشكل (٥-٩) كان زلزال قمة بوراه في يوم ٢٦ أكتوبر ١٩٨٣ قوته ٧,٣ M_s بتفريعة رأسية ارتفاعها ٢,٥ أمتار (٨,٢ أقدام). لاحظ أن هناك أيضا بعض التفريعات اليسارية الجانبية. وجبل بوراه (فى خلفية الصورة) ارتفع قليلا بفعل هذا الزلزال.



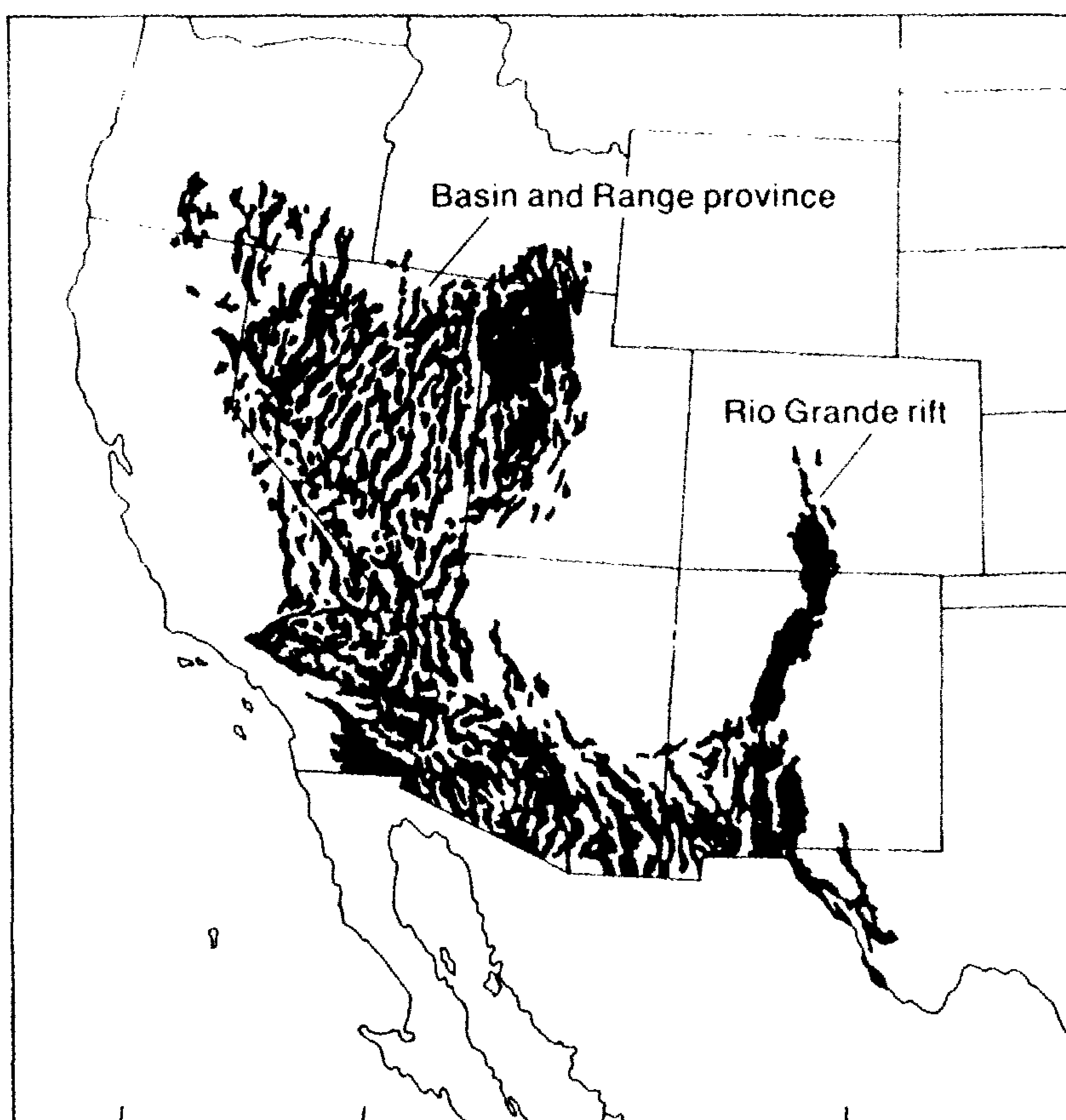
الشكل (٥-١٠) خريطة للصدوع الممتدة على طول جبهة واساتش في يوتاه. وينقسم صدع واساتش إلى عدة أقسام وتواريخ معظم الزلازل الحديثة ذات القوة ٦,٥ فأكثر موضحة على الخريطة.



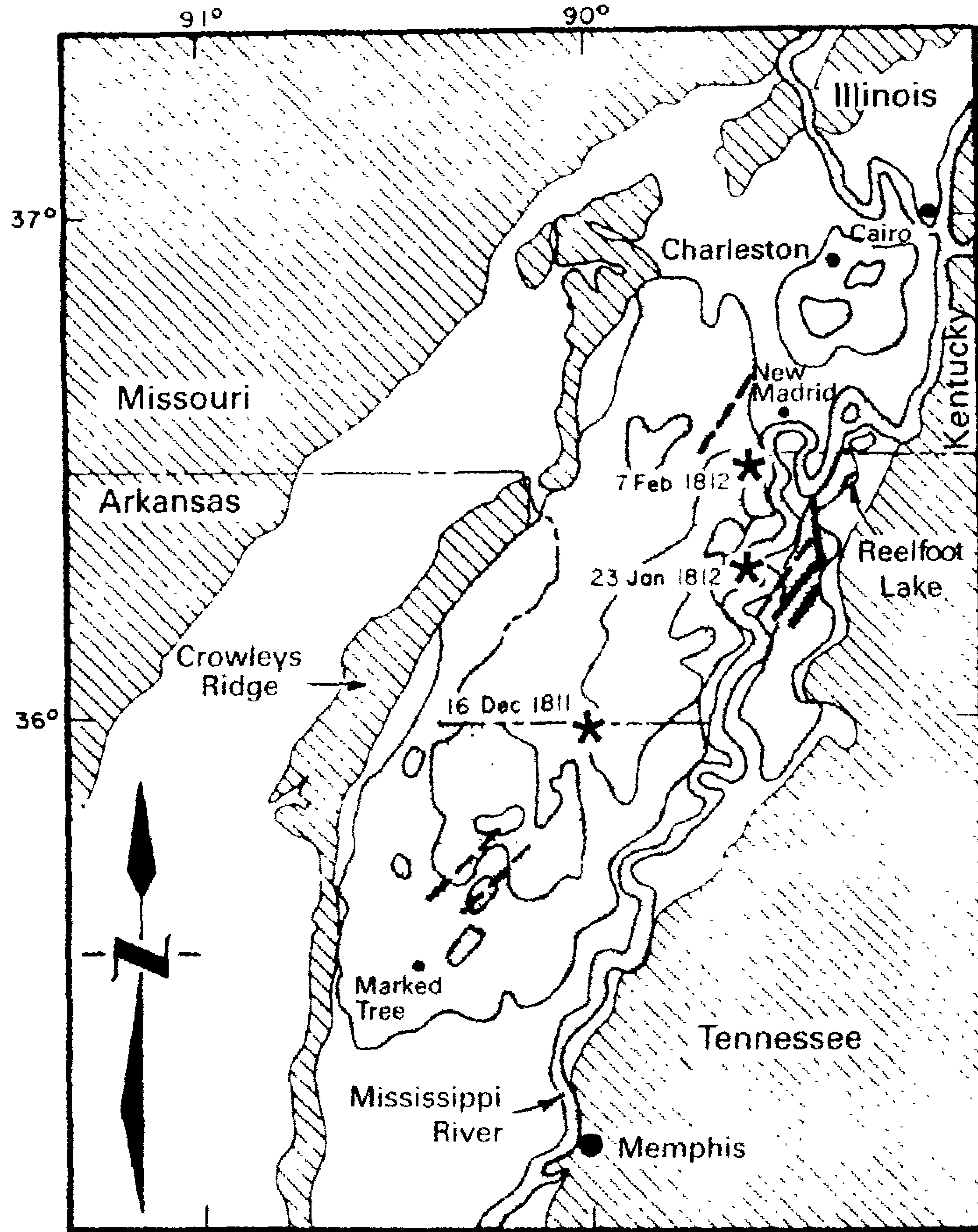
الشكل (٥-١١) صورة جوية تجاه الشرق فوق مدينة سولت ليك ويرى صدع واساتش مارا على طول سفوح الجبال.



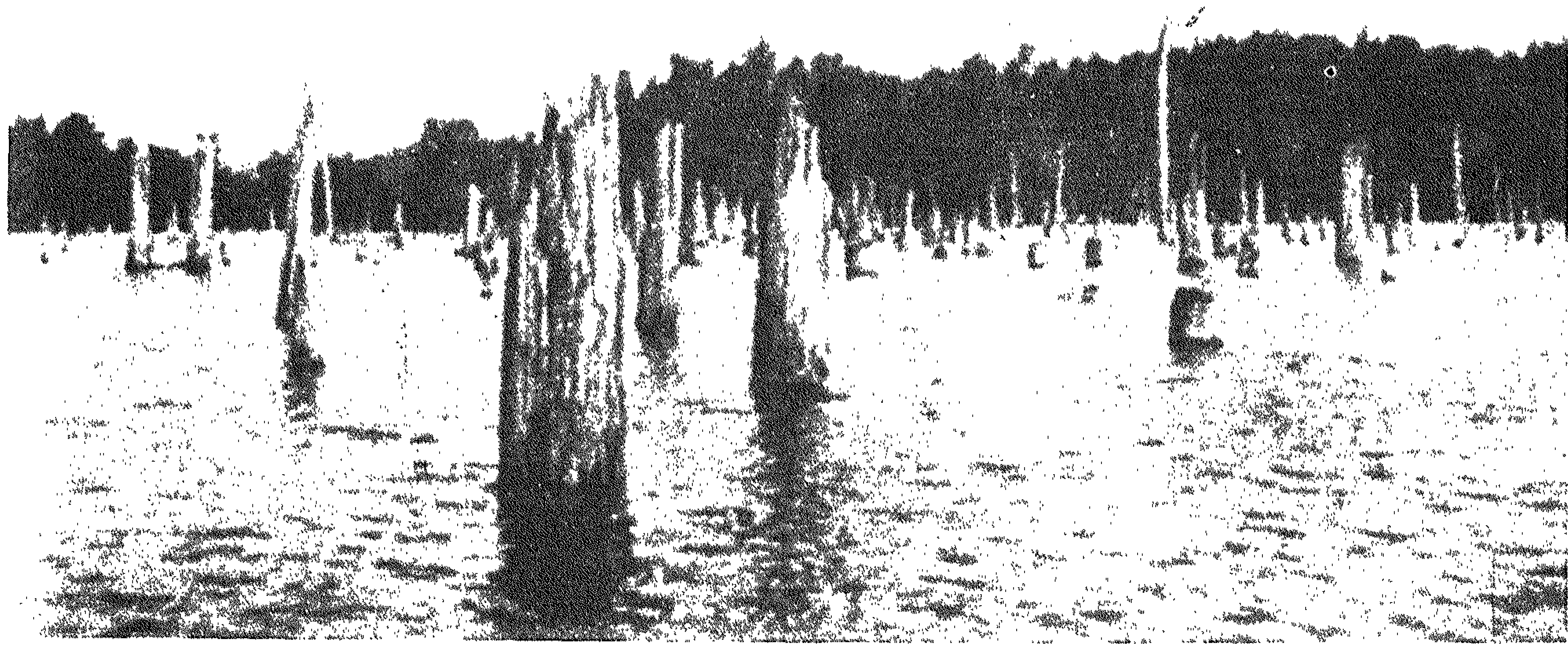
الشكل (٥-١٢) صورة ملتقطة من الحاسوب للتضاريس الطبوغرافية لغربى الولايات المتحدة. لاحظ تضاريس الجبال المتجهة شمالا وجنوبا فى مقاطعات الحوض وسلسلة الجبال التى تفصلها وديان خطية طولية.



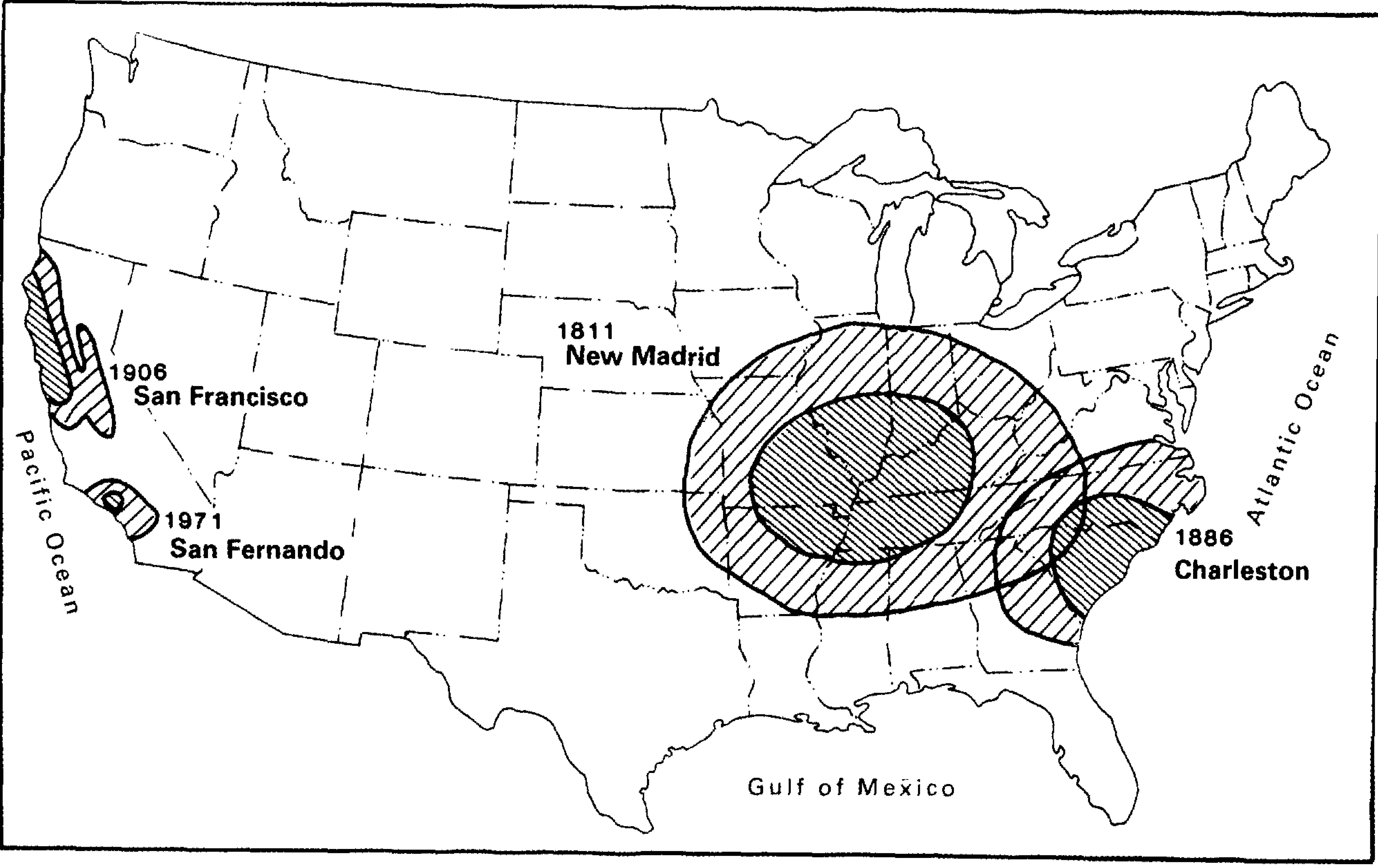
الشكل (٥-١٣) التضاريس الطبوغرافية لمقاطعات الحوض وسلسلة الجبال الممتدة وأخدود ريوجراند.
والأحواض المملوءة بالرواسب مظللة باللون الأسود.



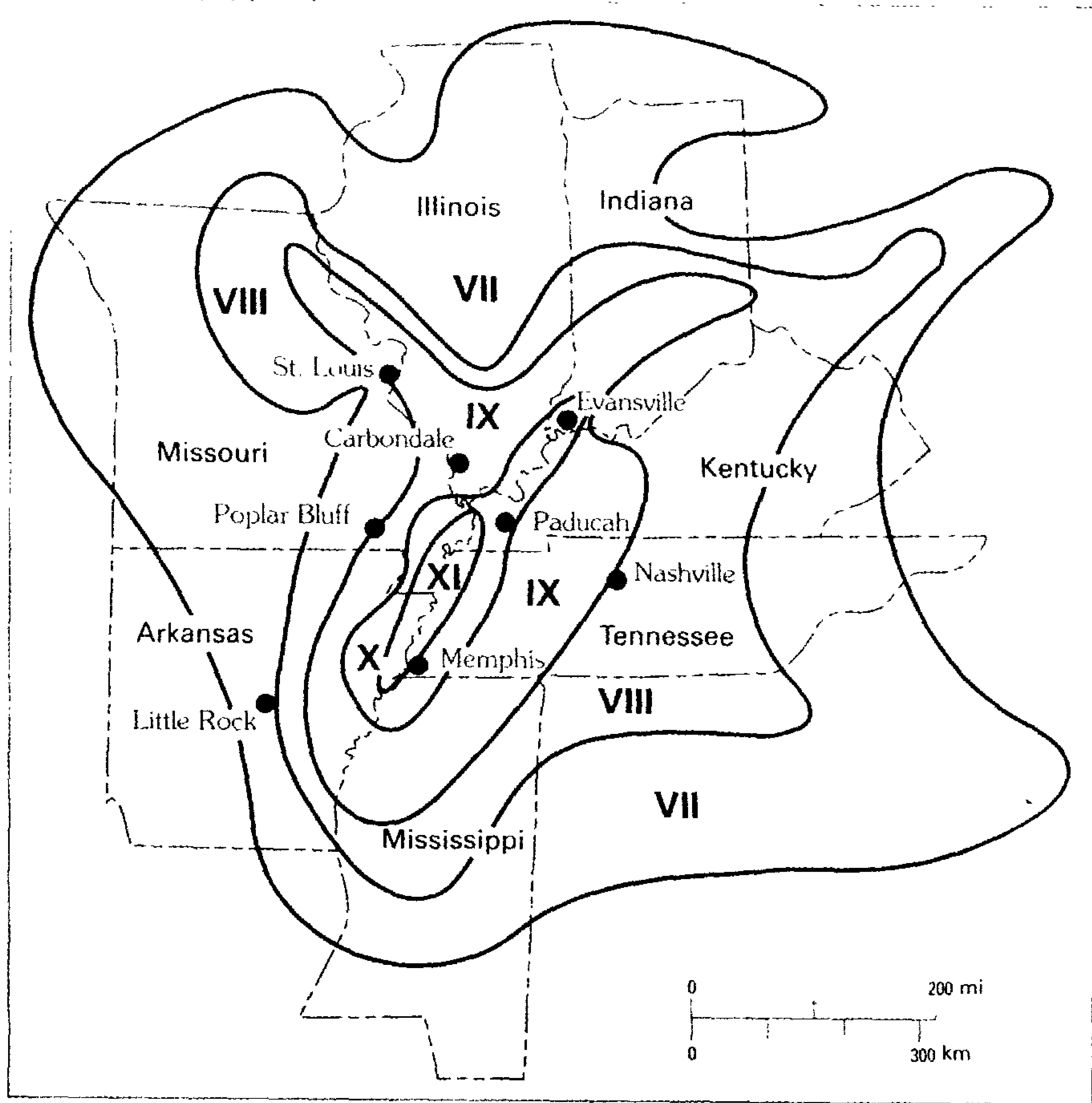
الشكل (٥-١٤) خريطة لإقليم نيو مدريد توضح المراكز السطحية للزلازل الكبرى والآثار الأرضية لأحداث ١٨١١-١٨١٢. وفى موقع ماركيد ترى فى أركانساس حدث زلزال قوته ٦,٤ فى عام ١٨٤٣؛ وفى شارلستون فى ميسورى وقع زلزال قوته ٦,٨ فى ١٨٩٥.



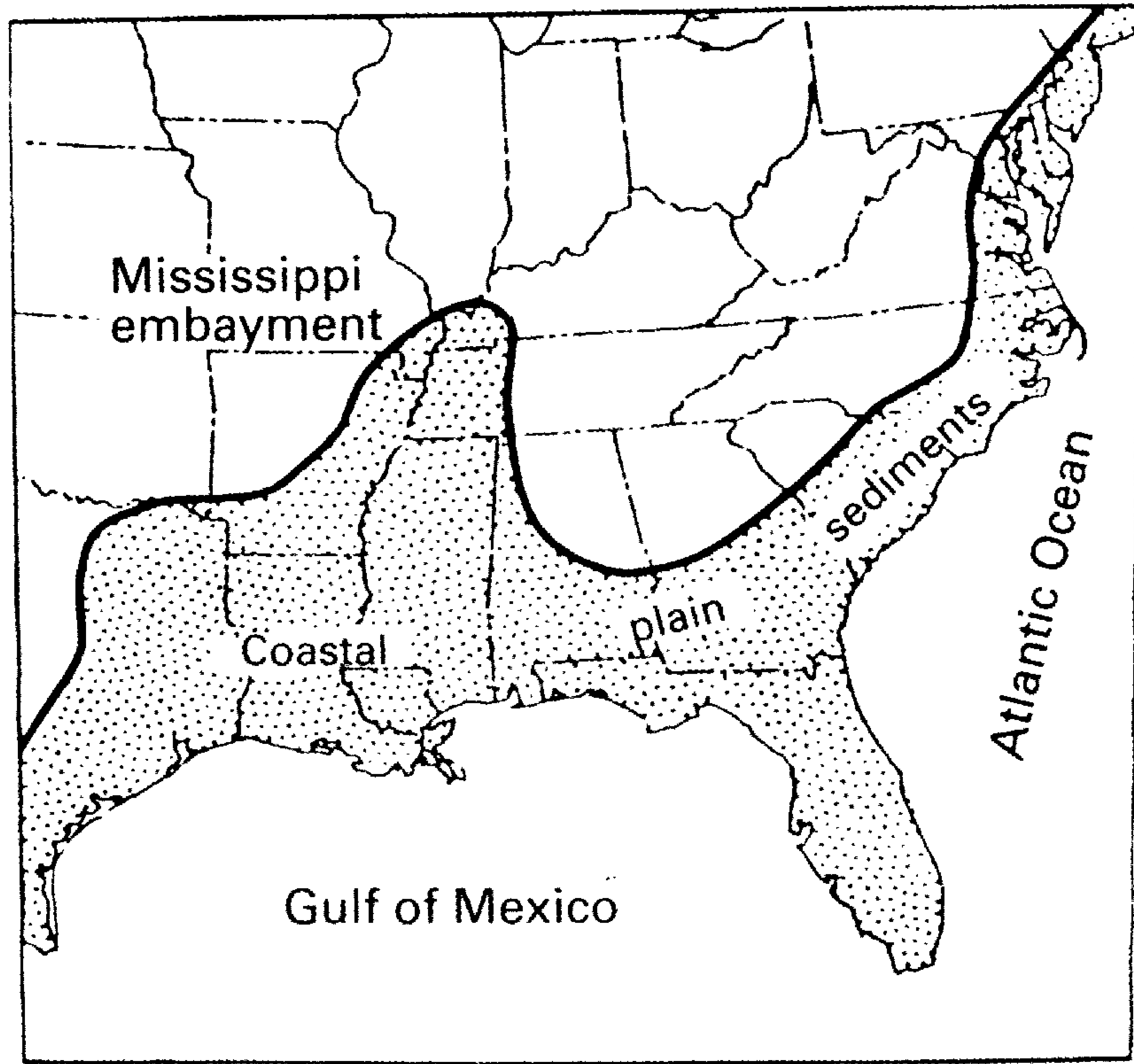
الشكل (٥-١٥) جذوع أشجار السرو الصنوبرى التى غرقت فى بحيرة ريلفوت بعد السد الذى أحدثه زلزال نيو مدريد.



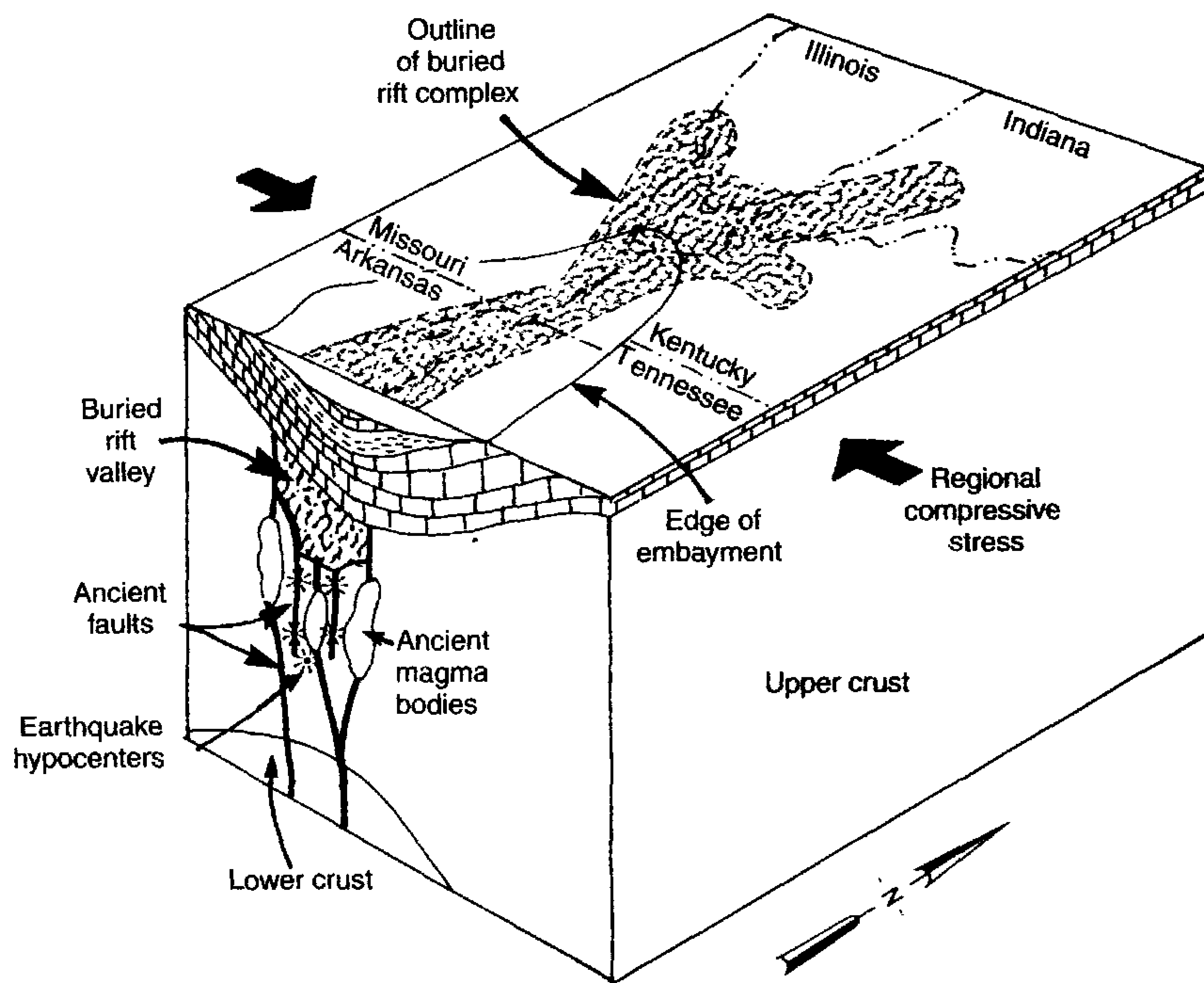
الشكل (٥-١٦) المناطق التى شعرت ببعض الزلازل الكبرى فى الولايات المتحدة. والمناطق الداخلية القريبة من المراكز قدرت فيها شدة الزلازل بمقياس ميركاللى أكثر من ٧؛ بينما المناطق الخارجية البعيدة عن المراكز قدرت فيها شدة الزلازل ٦ و٧ بمقياس ميركاللى.



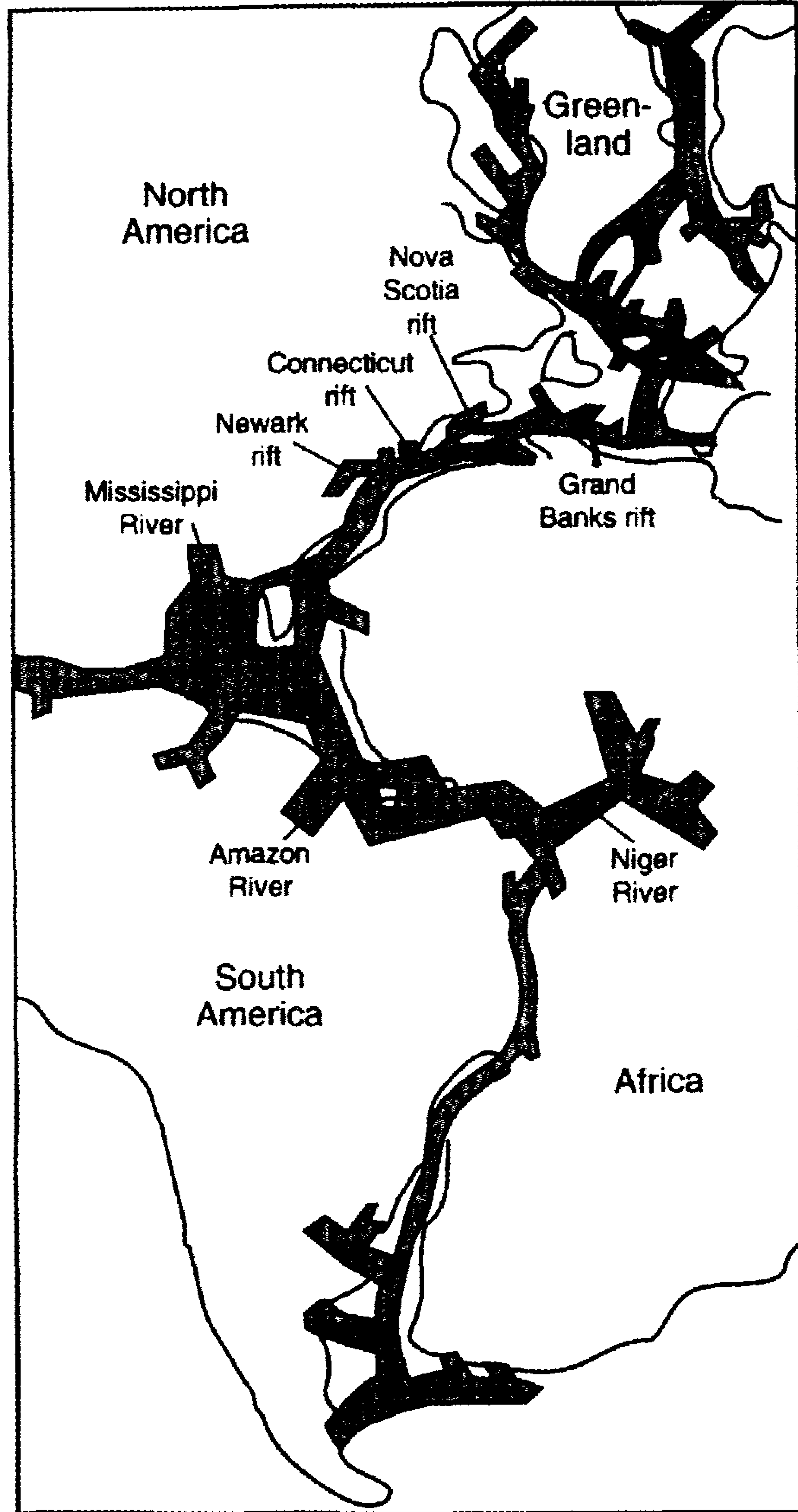
الشكل (٥-١٧) خريطة توضح تقديرات شدة الزلازل المتوقعة بمقياس ميركاللى عند تكرار زلزال نيو مدريد فى ١٨١١-١٨١٢. وتعنى شدة الزلزال ٨ خسائر فادحة فى المنشآت.



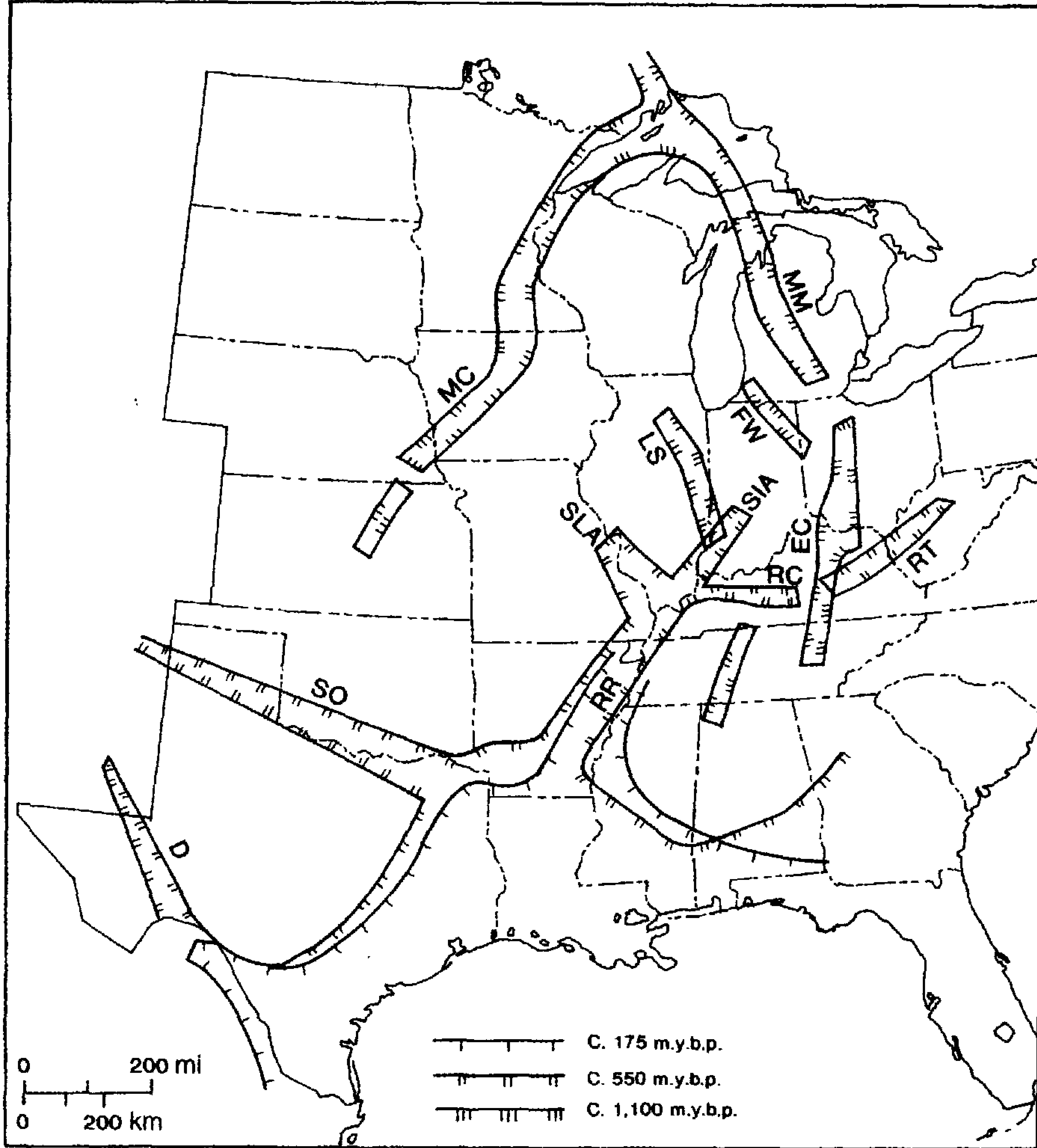
الشكل (٥-١٨) خريطة للرواسب التى ترسبت فى السهل الساحلى بفعل تحات الأنهار فى أمريكا الشمالية. لاحظ أن منحنى نهر مسيسيبى يبرز شمالا فى أمريكا الشمالية. فلماذا؟ هناك أخدود ضعيف فى العمق، ويتجه أخدود ضعيف أصغر منه فى جنوبى أوكلاهوما.



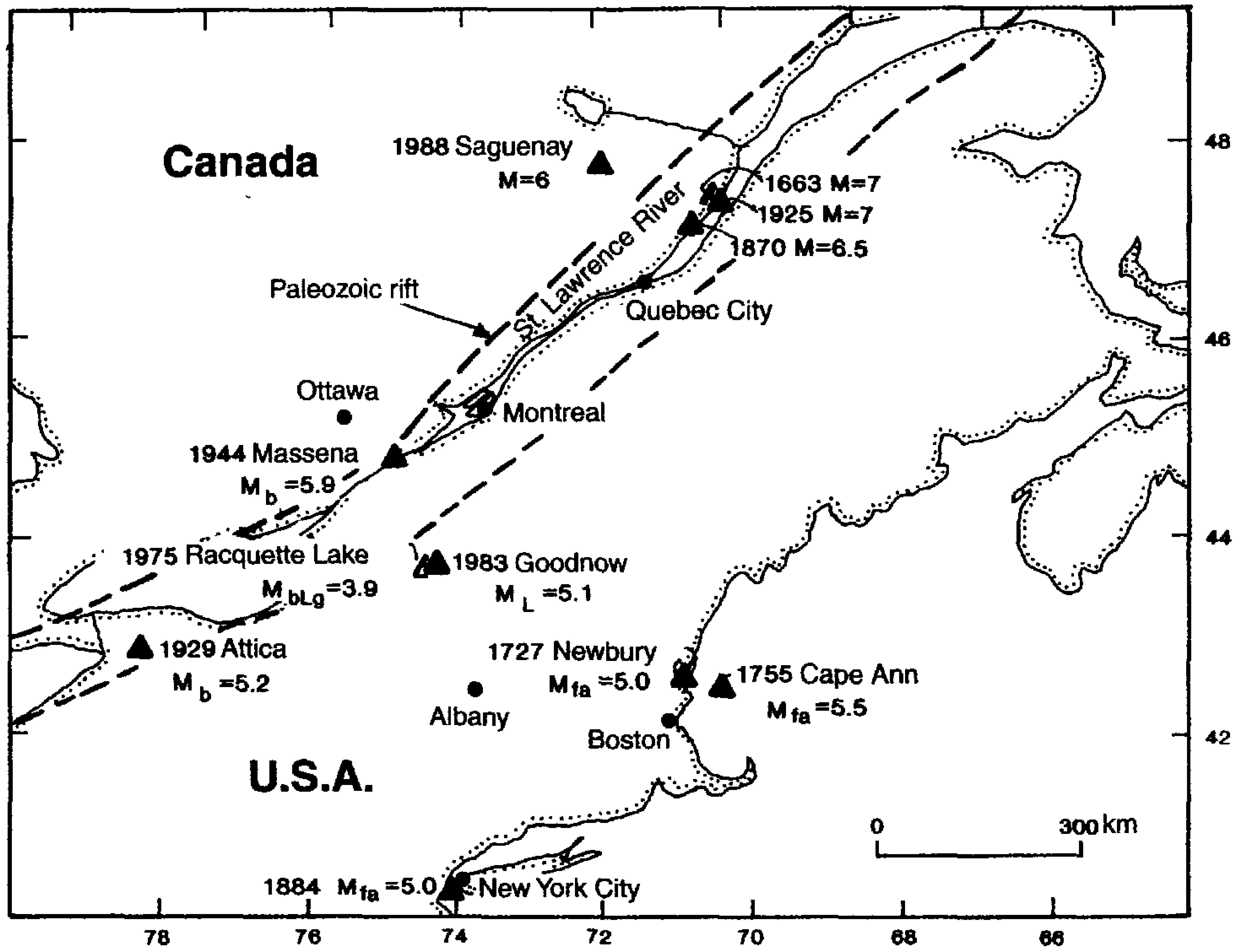
الشكل (٥-١٩) مخطط صندوقى لأخدود ديلفوت، وادى الأخدود الضعيف القديم تحت المنحنى العلوى لنهر مسيسيبى. ويحتمل حدوث زلازل كبيرة نتيجة للإجهادات التكتونية الحالية التى تحدث انهيارات فى الصدوع القديمة.



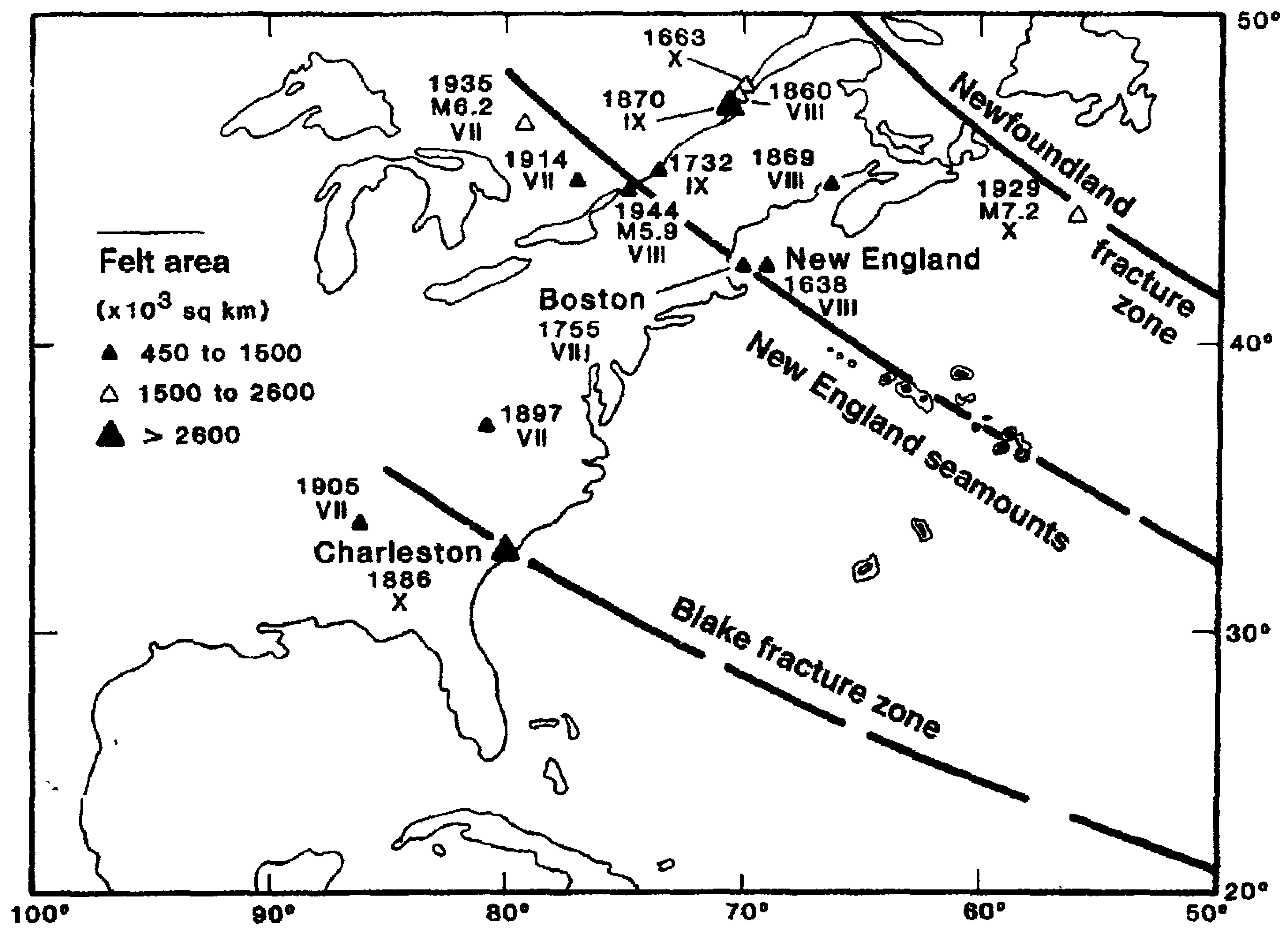
الشكل (٥-٢٠) خريطة تخطيطية للأخاديد التى تمزقت فى القارة الأن بنجايا منذ حوالى ٢٢٠ مليون سنة. وتشابكت الأخاديد المتتابعة لتفتح حوض المحيط الأطلنطى.



الشكل (٥-٢١) خريطة توضح الأوضاع التقريبية للأخاديد القديمة المطمورة فى وسط الولايات المتحدة. وحدث تشقق الأخاديد أثناء الأزمنة الثلاثة التالية - منذ حوالى ٢٠٠ - ١٧٥ مليون عام، ومنذ ٦٠٠-٥٠٠ مليون عام ومنذ ١,١٠٠-١,٠٠٠ مليون عام. وانشقت ظاهريا بعض الأخاديد القديمة ثانية تحت أنظمة الألواح التكتونية الأخيرة. وتعنى رموز الأخاديد ما يلى: **D** ديلاوير و**EC** شرقى القارة و**FW** فورت وين و**LS** لاسال و**MC** وسط القارة و**MM** وسط ميتشجين و**RC** رف كريك و**RR** ريلفوت و**RT** روم تراف و**SIA** لسان جنوبى إنديانا و**SLA** لسان سان لويس و**SO** جنوبى أوكلاهوما.



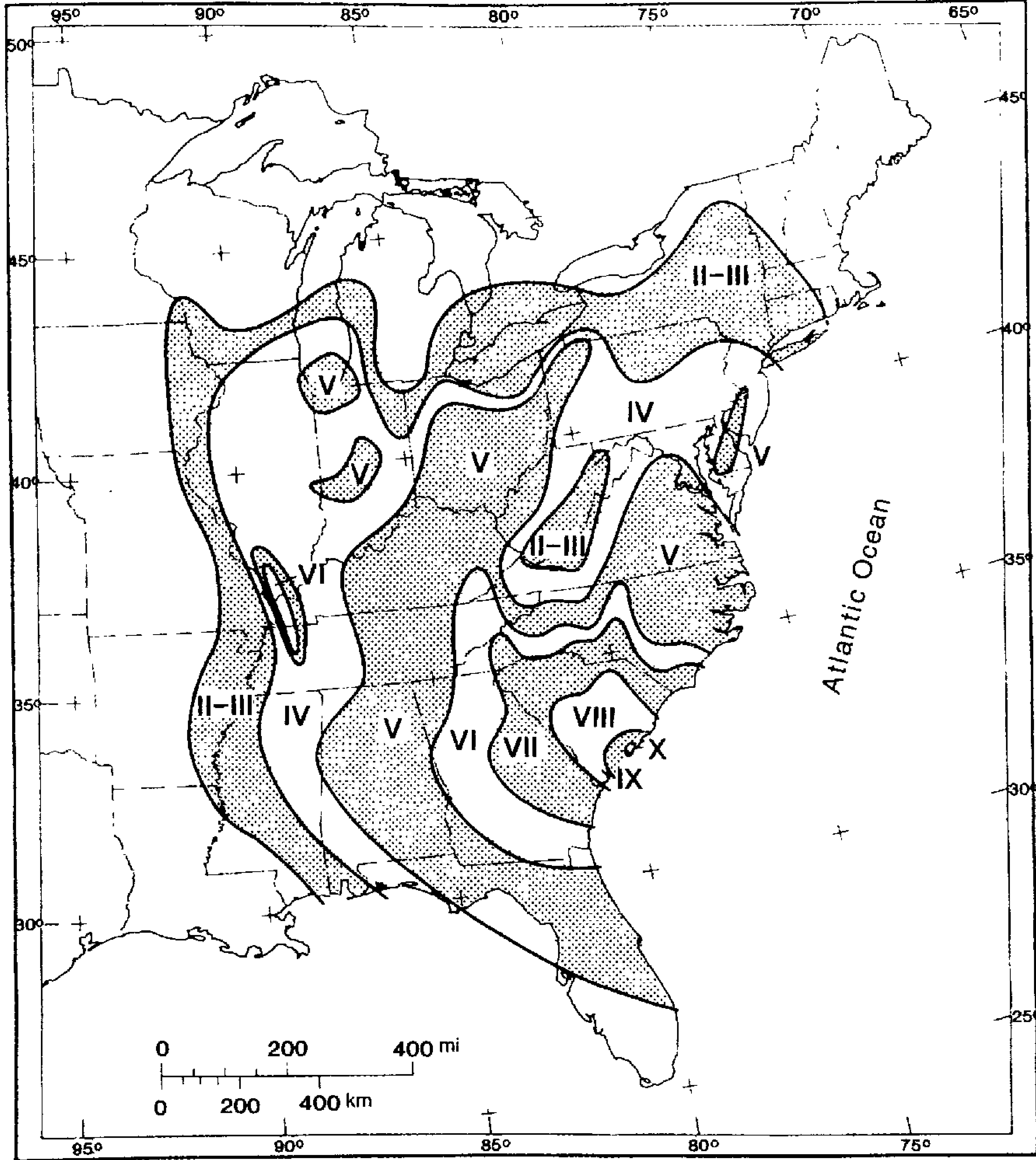
الشكل (٥-٢٢) بعض مواقع الزلازل في منطقة وادى نهر سان لورانس والمواقع التقريبية لوادى الأخدود القديم البالغ عمره من ٦٠٠ حتى ٥٠٠ مليون سنة. ويعنى الرمز **M_{fa}** قوة الزلزال مقدرة فى المنطقة التى تشعر بالزلازل **felt area**. وتقع الزلازل الكبرى فى شمال شرقى مدينة كويبيك فى منطقة زلازل شارليفوا.



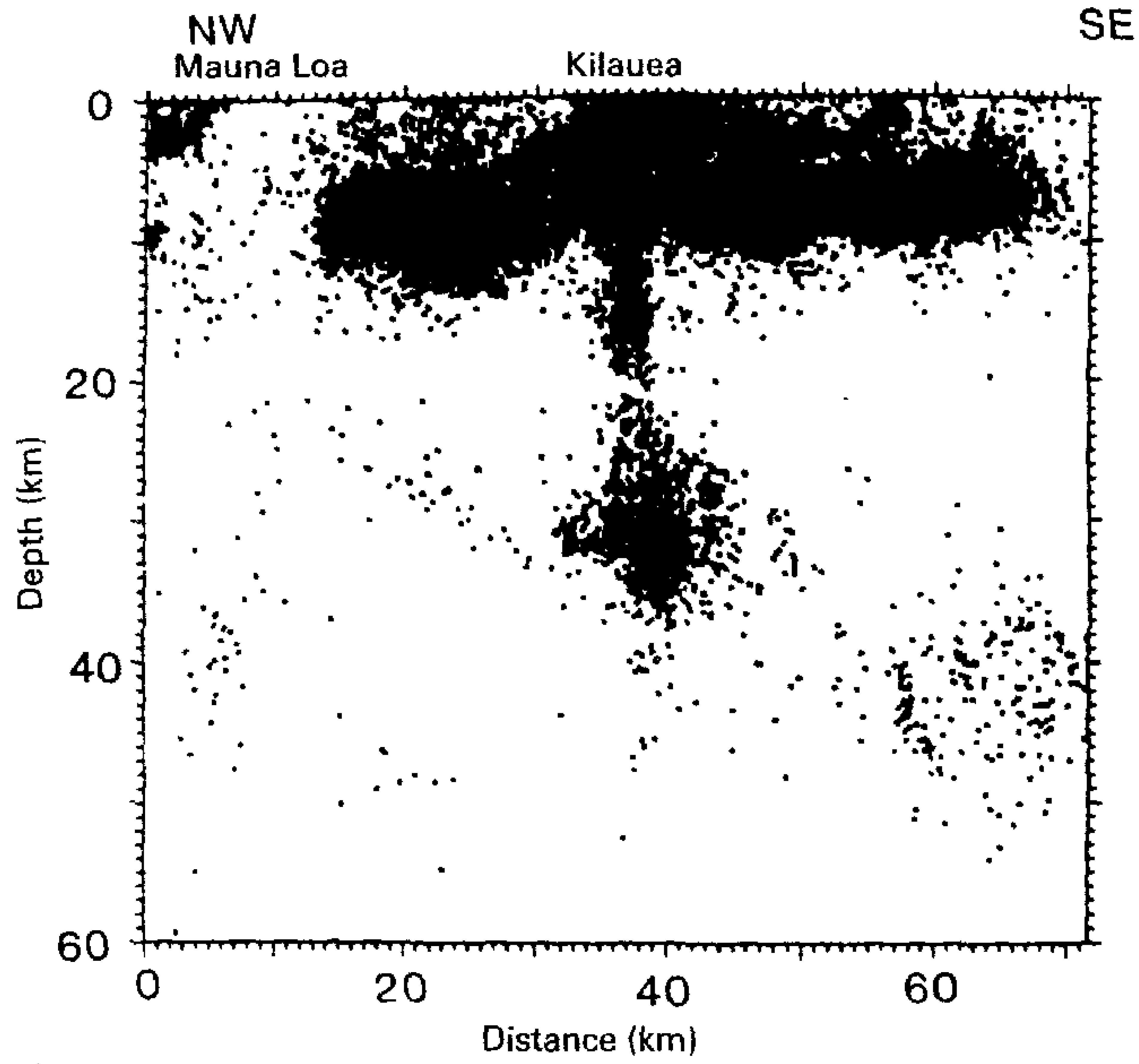
الشكل (٥-٢٣) مواقع المراكز السطحية للزلازل في شرقى الولايات المتحدة وكندا وامتداد الصدوع التحويلية فى منطقة الشقوق فى مركز انتشار وسط المحيط الأطلنطى.



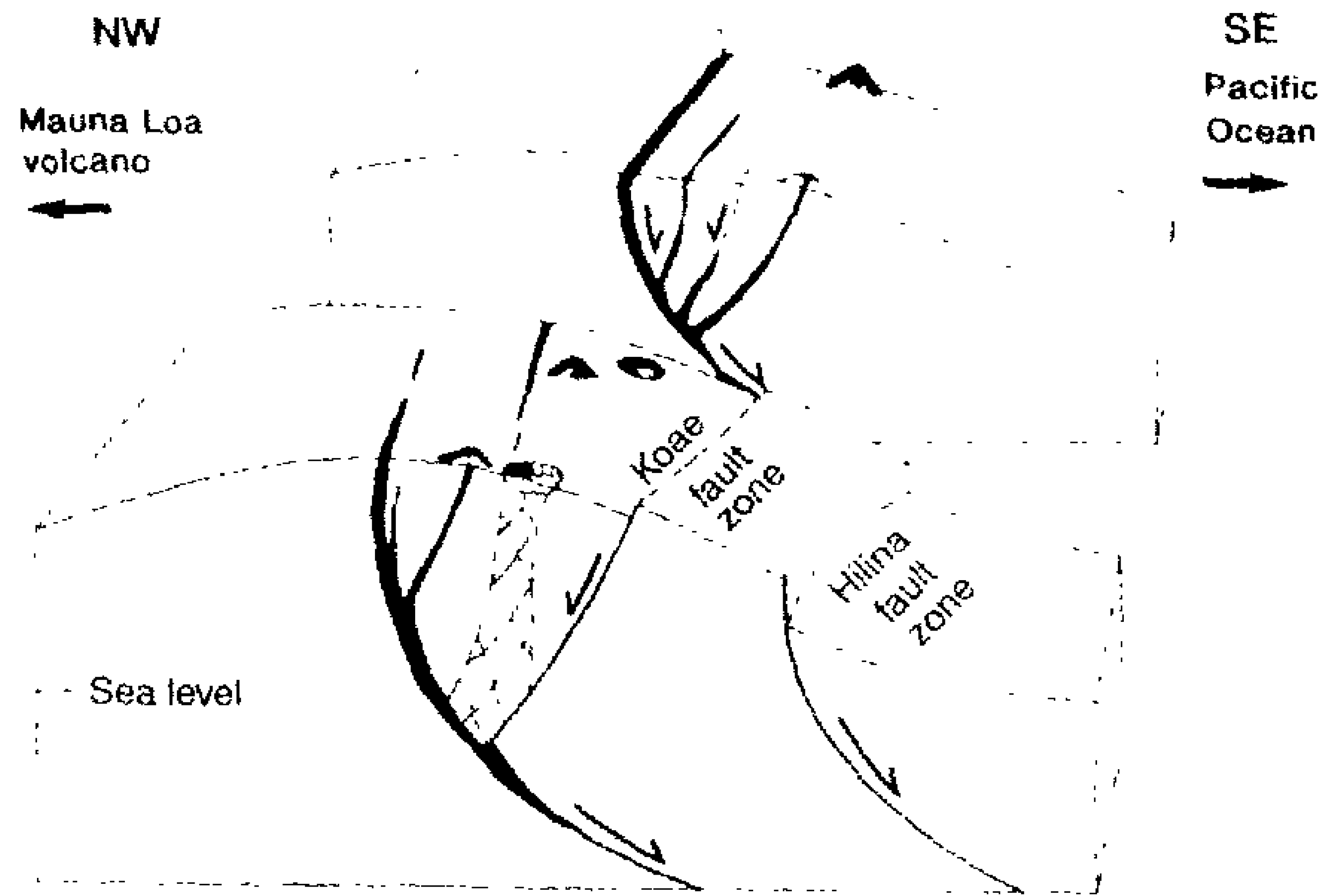
الشكل (٥-٢٤) بعض الخسائر من الزلازل ١٨٨٦ فى شارلستون فى جنوبى كارولاينا.



الشكل (٥–٢٥) خريطة لشدة زلزال ٣١ أغسطس ١٨٨٦ الواقع بالقرب من شارلستون فى جنوبى كارولاينا مقدرة بمقياس ميركاللى.



الشكل (٥-٢٦) قطاع مقطعي يوضح البؤر تحت بركان كيلويا على جانب بركان مونا لوا الأكبر منه في جنوب شرقي هاواي في الفترة من ١٩٧٠ حتى ١٩٨٣.



الشكل (٥-٢٧) مخطط صندوقي للجانب الجنوبي الشرقي لبركان كيلويا. وتضغط الصهارة المتداخلة (ذات اللون الأسود) على الصخور الهشة لتكسرها وتحركها محدثة زلازل. وتؤدي الصدوع العادية المنزلقة بمساعدة قوة الجاذبية إلى مزيد من الزلازل حيث تنزلق كتل صخرية نحو الجنوب الشرقي في المحيط.

جداول الفصل الخامس

الجدول (٥-١) بعض الزلازل الكبيرة فى أمريكا الشمالية (باستثناء ألاسكا وكاليفورنيا والمكسيك)

Date	Location	Intensity	Magnitude	Fatalities
11 Jun 1638	near Plymouth, Massachusetts	IX		
5 Feb 1663	Charlevoix, Quebec	X	7.5 M	
9 Nov 1727	near Newberry, Massachusetts	VII	5+ M	
16 Sep 1732	St. Lawrence River, Ontario	IX	6.1 M	7
18 Nov 1755	offshore Cape Ann, Massachusetts	VII	6.3 M	
16 Dec 1811	New Madrid, Missouri	XI	8.2 M	
23 Jan 1812	New Madrid, Missouri	XI	8.1 M	
7 Feb 1812	New Madrid, Missouri	XI	8.3 M	
4 Jan 1843	Marked Tree, Arkansas	VIII	6.4 M	
2 Apr 1868	south tip of Hawaii	X		148
20 Oct 1870	Charlevoix, Quebec	IX	6.6 M	
14 Dec 1872	North Cascades, Washington	IX	7.0 M_s	
31 Aug 1886	Charleston, South Carolina	X	7.7 M_s	
31 Oct 1895	near Charleston, Missouri	IX	6.8 M	
31 May 1897	Giles County, Virginia	VIII	6.3 M_s	
26 May 1909	Aurora, Illinois	VIII		
2 Oct 1915	Pleasant Valley, Nevada	X	7.6	
6 Dec 1918	Vancouver Island, British Columbia	VIII	7 M_s	
28 Feb 1925	Charlevoix, Quebec	IX	7 M	
27 Jun 1925	Manhattan, Montana	IX	6.7 M	
12 Aug 1929	Attica, New York	IX	5.8 M	
18 Nov 1929	Grand Banks, offshore Canada	X	7.2 M	27
20 Apr 1931	Lake George, New York	VIII		
16 Aug 1931	near Valentine, Texas	VIII	6 M	
20 Dec 1932	Cedar Mountain, Nevada	X	7.2 M	
12 Mar 1934	Kosmo, Utah	VIII	6.6 M_s	2
18 Oct 1935	Helena, Montana	VIII	6.2 M_s	4
31 Oct 1935	Helena, Montana	VIII	6.0 M_s	
1 Nov 1935	Timiskaming, Ontario	IX	6.4 M	
9 Mar 1937	Anna, Ohio	VIII	5.3 m_b	
5 Sep 1944	near Massena, New York	IX	6 M	
23 Jun 1946	Vancouver Island, British Columbia	VIII	7.2 M_s	
13 Apr 1949	Olympia, Washington	VIII	7.1 m_b	8
6 Jul 1954	Fallon, Nevada	IX	6.6 M	
23 Aug 1954	Fallon, Nevada	VIII	7.0 M	
16 Dec 1954	Dixie Valley, Nevada	X	7.2 M	
17 Aug 1959	Hebgen Lake, Montana	X	7.5 M_s	28
29 Apr 1965	Puget Sound, Washington	VIII	6.5 m_b	7
9 Nov 1968	southern Illinois	VII	5.5 m_b	
28 Mar 1975	Pocatello Valley, Idaho	VIII	6.1 M	
29 Nov 1975	Hawaii	VIII	7.2 M_s	2
27 Jul 1980	near Maysville, Kentucky	VII	5.1 m_b	
28 Oct 1983	Borah Peak, Idaho	IX	7.3 M_s	2
31 Jan 1986	northeast Ohio	VI	5	
12 Mar 1986	Mullan, Idaho	II	2	1
25 Mar 1993	Scotts Mill, Oregon	VII	5.6	
20 Sep 1993	Klamath Falls, Oregon	VII	5.9 & 6.0	2
3 May 1996	Seattle, Washington	VII	5.4	
24 Oct 1997	southern Alabama	VII	4.9 M_w	
25 Sep 1998	Sharon, Pennsylvania	VI	5.2	

الجدول (٥-٢) بعض الزلازل الكبيرة فى هاواى

Date	Location	Intensity	Magnitude
2 Apr 1868	Southeast Hawaii	X	~7.4
5 Oct 1929	Honualoa, Hawaii	VII	6.5 M_s
22 Jan 1938	North of Maui	VIII	6.7 M_s
25 Sep 1941	Mauna Loa, Hawaii	VII	6.0 M_s
22 Apr 1951	Kilauea, Hawaii	VII	6.5
21 Aug 1951	Kona, Hawaii	IX	6.9
30 Mar 1954	Kalapana, Hawaii	VII	6.5
26 Apr 1973	Southeast Hawaii	VIII	6.3
29 Nov 1975	Southeast Hawaii	VIII	7.2 M_s
16 Nov 1983	Mauna Loa, Hawaii	VII	6.6 M_s
25 Jun 1989	Kalapana, Hawaii	VIII	6.5

مراجع الفصل الخامس

Suggested Readings and References نصوص ومراجع مقترحة

Active Tectonics. (1986). Washington, D.C.: National Academy Press.

Adams, J. (1992). Paleoseismology: A search for ancient earthquakes in Puget Sound. *Science*, 258, 1592–93.

Baldridge, W. S., and Olsen, K. H. (1989). The Rio Grande rift. *American Scientist*, 77, 240–47.

Earthquakes in Missouri. (Undated). Rolla, Mo.: Missouri Department of Natural Resources.

Gordon, D. W. (1988). Revised instrumental hypocenters and correlation of earthquake locations and tectonics in the central United States. U.S. Geological Survey Professional Paper 1364.

Hamilton, R. C., and Johnston, A. C., eds. (1990). Tecumseh's prophecy: Preparing for the next New Madrid earthquake. U.S Geological Survey Circular 1066.

Johnston, A. C., and Kanter, L. R. (1990, March). Earthquakes in stable continental crust. *Scientific American*, 68–75.

Klein, F. W., and Koyanagi, R. Y. (1989). The seismicity and tectonics of Hawaii. *Decade of North American Geology.* (Vol N, 238–52). Boulder, Co.: Geological Society of America.

Noson, L. L., Qamar, A., and Thorsen, G. W. (1988). Washington State earthquakes. Washington Division Geology and Earth Resources, Information Circular 85.

Nuttli, O. W., et al. (1986). The 1886 Charleston, South Carolina earthquake—A 1986 perspective. U.S. Geological Survey Circular 985.

Slemmons, D. B., Engdahl, E. R., Zoback, M. D., and Blackwell, D. D. eds. (1991). *Neotectonics of North America.* (Decade map volume). Boulder, Co.: Geological Society of America.

Stein, R. S., and Buckman, R. C. (1986, June). Quake replay in the Great Basin. *Natural History*, 29–35.

Videos الفيديو

Hidden Fury: The New Madrid Earthquake Zone. (1993). Bullfrog Films (27 min.).

Earthquake Awareness and Risk Reduction in Utah. (1991). Utah Geological Society (25 min.).

Earthquake Risk in the Central United States. (1988). Federal Emergency Management Agency (9 min.).

Surviving the Big One. (1990). KCET-TV (58 min.).

Subject to Change. (1988). Pacific Bell (17 min.).

الفصل السادس

البراكين

من المفيد أن نؤكد أن ثورة الأرض..

ليست صنيعة آلهة هناك غاضبة.

فهذه الظواهر تكمن من ورائها

عواملٌ أخر.

لوشياس آنيوس سينيكا، ٦٣م

مسائل طبيعية

مخاطر ثورات البراكين واضحة، ولكن فترات الهدوء بين النشاطات البركانية مضللة. وينخدع بعض الناس بالبراكين كما تنخدع الفراشات باللهب؛ حتى أولئك الذين يعرفون عنها الكثير. ففي يوم ١٤ يناير ١٩٩٣ نصب علماء البراكين الذين حضروا ورشة عمل في كولومبيا كجزء من برنامج عمل مؤتمر العقد العالمي لتقليل آثار الكوارث الطبيعية مخيمهم في قمة فوهة بركان جاليراس لأخذ عينات من الغازات وقياس قوة الجاذبية. وكانوا يبحثون عن وسائل للتنبوء بالثورات المحدقة. وظل البركان هادئا منذ يوليو ١٩٩٢، ولكن أثناء زيارتهم فارت ثورة ثانوية غير متوقعة بقوة الغازات فقتلت ستة من الفريق العلمي - أربعة من كولومبيا وروسي وإنجليزي. ولم تكن وفاتهم حدثا غير عادي (الجدول ٦-١). فما هم إلا مثال بسيط لأحداث أكبر جسامة حدثت عندما

اندلع أحد البراكين فجأة فدفن مدينة بأكملها. وفى الفترات الطويلة لخمود البراكين يميل الناس لبناء مدنهم بالقرب من البراكين. فمثلا، كان ٤٠٠٠٠٠ نسمة يعيشون على حواف بركان جاليراس متحدِّين بذلك حتمية الثورة الكبيرة التى تقضى على الحياة حولها.

فالبركان الواحد يمكن أن يظل نشيطا لملايين السنين، ولكن فترات ثورته تفصلها عادة قرون من الهدوء، فتغرى البعض بإحساس أمنى خادع. وفى حوالى عام ٤١٠ قبل الميلاد كتب نيوسايديدس يقول: «التاريخ يعيد نفسه». ونعرف جيدا أن من يتجاهل دروس التاريخ يكتب عليه أن يكرر أحداثها. ففى كل عام يضحى عدد كبير من الناس بأرواحهم فى الثورات البركانية.

تشريح ثورة البركان

تتدفق الطاقة الداخلية للأرض نحو الخارج مثل الحرارة (انظر الفصل الأول). ويرتفع جزء صغير من هذه الحرارة إلى أعلى على شكل ريشات (نافورات) محلية مركزة تغلى الماء وتسيل الصخر. وما طفوح الينابيع الحارة والفوارات(*) وثورات البراكين إلا وسائل سريعة تطرد الأرض بها بعضا من حرارتها الداخلية. ويشمل النوعان من الثورات بعضا من نفس المبادئ.

كيف تثور الفوارة

يسمى فوران الماء الفائق الحرارة بفعل الصهارة فوارة (مرجل طبيعى). اشتق هذا الاسم من الكلمة الآيسلاندية **geysir** التى تعنى الفوران أو الثورة. وتشمل المناطق

(*) فوارة، مرجل طبيعى geyser ينبوع ساخن يتفجر من آن لآخر فيقذف بخارا وماء حارا. (**ما هى الجيولوجيا؟**- المترجم)

ذات النشاط في الفوارات آيسلاند وتشيلي وييللوستون بارك في الولايات المتحدة والجزيرة الشمالية من نيوزيلاند وشبه جزيرة كاماتشاتكا في روسيا. وتشترك هذه المواقع في خصائص عامة: فالماء جاهز تحت السطح والحرارة وفيرة. والماء المتكون من الجليد والأمطار والأنهار والبحيرات ينجذب إلى أسفل بفعل الجاذبية إلى تحت سطح الأرض حيث يتحرك ببطء خلال شبكة من الفجوات التي أحدثتها الشقوق والكهوف والمسام في الصخور. والماء المتجه إلى أسفل في دورته المعروفة يواجه الحرارة من كتلة الصهارة القريبة من السطح، فيمتص بعضا من هذه الحرارة ثم يثور (الشكل ٦-١). ولكي تتكون *الفوارة* لابد أن تكون *الحرارة* زائدة. فمثلا، تبلغ *الحرارة* المتدفقة في حوض الفوارة العليا في ييللوستون بارك أعلى من ٨٠٠ ضعف لمتوسط الحرارة العادية.

ويتجاهل هذا الوصفُ البسيط للتفاعل المعقد للحرارة والضغط اللذين يؤديان إلى الثورة. فالماء يغلي عند درجة حرارة ١٠٠ْ مئوية (٢١٢ْ فهرنهايتية) عند منسوب سطح البحر. وعلى ارتفاع ييللوستون بارك البالغ ٢,١٥٠ مترا (أكثر من ٧,٠٠٠ قدم) يخف الضغط الجوي فوقه فيغلي الماء عند درجة حرارة ٩٣ْ مئوية (١٩٣ْ ف). وعلى أية حال، فإن الماء الموجود على عمق ٣٣٢ مترا (١,٠٨٨ قدما) عند الحفر تحت السطح في منطقة حوض فوارة نوريس في ييللوستون بارك كان لا يزال سائلا عند درجة حرارة ٢٤١ْ مئوية (٤٦٥ْ ف). فكيف يظل الماء سائلا عند هذه الحرارة؟ يظل الماء سائلا لأن الضغط في هذا العمق مرتفع جدا يحول دون تحوله إلى بخار. فماذا يحتاج إليه الماء لكي يتحول إلى بخار في هذا العمق الكبير تحت السطح؟ إما يحتاج إلى حرارة أعلى أو ضغط أقل ليتم تحوله إلى بخار.

والماء الذي يدور في دورته على عمق آلاف الأقدام تحت السطح يمكن تسخينه إلى درجات حرارة أعلى بكثير من ١٠٠ْ مئوية (٢١٢ْ ف) بدون غليان نظرا إلى أن ضغط كتلة الماء الجوفي التي تعلوه يكون عاليا جدا (الشكل ٦-٢). وعلى أية حال، فعندما يغلي هذا الماء الفائق السخونة يتمدد حجمه عندما يتحول السائل إلى بخار ويساعد علي رفع الماء المحيط به إلى أعلى حيث يخف الضغط. وفي الأعماق الضحلة والضغط الأقل يتحول بعض الماء بسرعة البرق إلى بخار؛ وهذا ساعد على رفع مزيد

من الماء الفائق السخونة إلى المستويات الأقل ضغطا، وهكذا. ولهذا، يحمل الماء الفائق السخونة المرتفع إلى أعلى مزيدا من الطاقة اللازمة لثورة الفوارة.

فماذا يثير تدفق الفوارة؟ ليست الحرارة المضافة بل الضغط المنخفض. وعادة ما تتبع ثورة الفوارة هذا التسلسل فى الأحداث: (١) ففى العمق، يتدفق الماء الفائق السخونة من الشروخ الدقيقة المضغوطة إلى خزانات كبيرة الحجم للفوارة. (٢) وعندما ترتفع الحرارة يتحول بعض الماء بسرعة البرق إلى بخار. (٣) ترتفع فقاعات البخار إلى مستويات أقل فى الضغط وتتمدد باستمرار. (٤) ويصل الماء المرتفع إلى نقطة حرجة حيث يتزايد البخار والفقاعات بدرجة يجتاح فيها الماء ويحمله إلى أعلى مسببا المزيد والمزيد من التحول إلى بخار على طول الطريق الذى يسلكه إلى أعلى. (٥) وفى النهاية يحدث الفوران العجيب المنظر.

كيف يثور البركان

تبدأ ثورة البركان مثل ثورة الفوارة بالحرارة فى العمق. فالصخر الفائق السخونة يرتفع إلى مستويات ذات ضغط أقل، وربما تحولت بعض الصخور الصلبة إلى صهارة سائلة، وتتمدد فى الحجم الأمر الذى يؤدى إلى الثورة خطوة خطوة (الشكل ٦-٣).

وتتكون الصهارة من الصخور السائلة الموجودة. وربما يسيل الصخر بالآتى: (١) تخفيف الضغط عنه. (٢) رفع درجة الحرارة. (٣) زيادة محتوياته من الماء. وتتولد معظم الصهارة من خفض الضغط على الصخر الساخن. فمثلا، يرتفع الصخر الصلب الساخن الذى يسهل تحركه فى الوشاح إلى أعلى ويواجه تدريجيا ضغطا أقل وسيولة تلقائية، بدون إضافة المزيد من الحرارة. وتسمى عملية الانصهار عن طريق تخفيف الضغط بالإذابة بتخفيف الضغط.

ويوجد أكبر خزان قريب من الصخر الفائق السخونة الجاهز للانصهار فى نطاق الانسياب (آستينوسفير) المنصهر تقريبا؛ وهذا الصخر الساخن بالقدر الكافى

للتدفق بدون سيولة، هو المصدر الرئيسى للصهارة. وعندما يرتفع هذا الصخر الفائق السخونة ينخفض ضغطه فيسمح لبعض الصخور بالانصهار. ويرفع المخلوط المكون من الصخر الساخن الصاعد والصهارة من حرارة الصخور التى يمر خلالها، وبهذا يصهر أجزاء من الصخور العلوية.

فإذا انخفض الضغط فى نطاق الانسياب أو فى القشرة الأرضية، انصهرت بعض الصخور بما يصاحبها من تمدد فى الحجم يؤدى إلى تشقق الصخور العلوية. وتسمح هذه الشقوق بارتفاع مزيد من المادة إلى مستويات الضغط المنخفض، مما يؤدى إلى إسالة مزيد من الصخور. فمثلا، تسيل صخور البازلت على عمق ٣٢ كم (٢٠ ميلا) تحت درجة حرارة ١,٤٣٠° مئوية (٢,٦٠٠° ف)، بينما نفس هذا الصخر يسيل فقط تحت درجة حرارة ١,٢٥٠° مئوية (٢,٢٨٠° ف) على سطح الأرض. وحيث إن الصخر المتحرك إلى أعلى/ الصهارة يصل إلى أقل مستويات الضغط؛ فإن الصخر الصاعد يمكن أن يسيل ويمكن للصهارة أن تزيد من سيولتها بحيث تؤدى بالتالى إلى تسخين الصخر بدرجة حرارة فائقة ليصبح صهارة.

ولا تحتوى الصهارة فى العمق على فقاقيع غازية لأن الضغط العالى فى العمق يبقى على الغاز مذابا فى المحلول. ولكن عندما ترتفع الصهارة نحو السطح يستمر الضغط فى الانخفاض وتبدأ الغازات فى التسرب من المحلول مكونة فقاقيع تتمدد كلما انخفض الضغط (الشكل ٦-٤). ويساعد المزيد من ارتفاع فقاعات الغاز المتنامية فى الحجم على دفع الصهارة إلى أعلى خلال الشقوق أو الأنابيب حتى تفور. وتستمر فقاعات الغاز فى الزيادة فى العدد والحجم طالما ظلت الصهارة ترتفع إلى أعلى حيث يقل الضغط. وعندما يبلغ حجم فقاعات الغاز حوالى ٧٥٪ يمكن للغاز أن يكتسح الصهارة ويفتتها إلى أجزاء ويحملها إلى أعلى وإلى الخارج فى نافورة غاز قوية (الشكلان ٦-٣ ، و٦-٤). وعند خروج نافورة الغاز من البركان تسحب الهواء الذى يساعد على طفو السحابة (الريشة) العنيفة.

فلماذا تتدفق الصهارة من بعض البراكين بهدوء وسلام نسبيا، بينما تندفع من براكين أخرى متوهجة بعنف وتحدث وفيات على نطاق واسع؟ وترجع الإجابة عن هذا

السؤال إلى: (١) اختلاف التركيب الكيميائى المعدنى فى الصهارات؛ (٢) اختلاف درجات الحرارة ولزوجة الصهارات ومحتوياتها من الماء والغاز؛ (٣) اختلاف المواقع الجغرافية بالنسبة لحواف الألواح التكتونية والنقاط الحارة. ويلزمنا فهم هذه الاختلافات.

التركيب الكيميائى والمعدنى للصهارة

رغم أن هناك ٩٢ عنصرا طبيعيا موجودا، فإن ثمانية منها فقط هى التى تشكل أكثر من ٩٨٪ من القشرة الأرضية (الجدول ٦-٢). والأربعة عناصر التالية الأكثر انتشارا تضيف إلى القشرة الأرضية كذلك ١,٢٪ لتصبح النسبة المئوية لوزن هذه العناصر الإثنى عشر ٩٩,٢٣٪. وتشمل النسبة المتبقية وهى ٠,٧٧٪ الذهب والفضة والنحاس والكربون والكبريت والقصدير وعدة عناصر معروفة أخرى.

وتبلغ عناصر الأكسيجين والسيليكون من الوفرة ما يجعل نسبتها تفوق كل العناصر الأخرى. وتحمل ذرات الأكسيجين شحنات سالبة (-٢)، بينما تحمل ذرات السيليكون شحنات موجبة (+٤). وعندما تبدأ الصهارة فى البرودة وتتحول إلى الصلابة فإن ذرات السيليكون وذرات الأكسيجين أول ما يتحد فيها. ويتحد السيليكون والأكسيجين بإحاطة ٤ ذرات من الأكسيجين (٤ × -٢= -٨) بمركز ذرة السيليكون (+٤) لتكون أكسيد السيليكون الرباعى السطوح (SiO_4) (الشكل ٦-٥). وأكسيد السيليكون هذا الرباعى السطوح SiO_4 يأتى بشحنة سالبة (-٤) على سطحه الخارجى لتجذب إليها الذرات ذات الشحنة الموجبة وتتحد معها. وبعد الأكسيجين السالب الشحنة تصبح العناصر الأوفر الأحد عشر جميعها موجبة الشحنة (الجدول ٦-٢)؛ فتنجذب نحو الأكسيجين وتتحد معه. وهذه العملية شائعة وكبيرة إلى درجة أن هذه الوفرة من العناصر فى القشرة الأرضية عادة ما تسجل متحدة مع الأكسيجين (بصفتها أكاسيد). وتختلف النسب المئوية لأوزان هذه العناصر اختلافا كبيرا فى القشرة القارية عنها فى القشرة المحيطية (الجدول ٦-٣). ويحدث الاختلاف الملحوظ فى نسب الأكسيجين تركيبات وخواص متنوعة فى الصهارة.

وتتحد العناصر الثمانية الأكثر انتشارا فى أشكال مختلفة لتكون مئات من مختلف المعادن. وتسمى عملية تكوين المعادن فى الصهارة التى تبرد بالتبلور. وكما هو الحال فى العناصر، تحدث درجة من البساطة فى الصهارة المتبلورة لأن الغالبية العظمى من القشرة الأرضية مكونة من العناصر الثمانية الشائعة للمعادن المكونة للصخور. وكشفت الاختبارات المعملية والفحوصات المجهرية للمعادن المكونة للصخور عن نظام تبلور هذه المعادن من الصهارة التى تبرد (الشكل ٦-٦).

وتنقسم الصهارة التى تصل إلى السطح بدرجات حرارة تتراوح من ١,٠٠٠ حتى ١,٢٠٠ ْ مئوية (١,٨٣٠ حتى ٢,١٩٠ ْ ف) إلى خطين منفصلين من النمو المعدنى:

١- يتحد الحديد والمغنيسيوم بالألومنيوم وأكسيد السيليكون الرباعى السطوح عندما تتناقص درجة حرارة الصهارة مشكلة بالتتابع أربعة فصائل متميزة وغير مستمرة من المعادن - الزبرجد الزيتونى (أوليفاين) وسيليكات المغنيسيوم (بايروكسين) وآمفيبولات وبيوتايت ميكا (مادة زجاجية سوداء داكنة).

٢ - ويتحد الكالسوم بالألومنيوم A1 وأكسيد السيليكون الرباعى الأسطح SiO_4 ليبدأ تكوين فصيلة بلاجيوكليز فلسبار (ضرب من الفلسبار). وهى سلسلة متعاقبة من المعادن. وعندما تنخفض درجة الحرارة يتحد الصوديوم تدريجيا (وقليل من الكالسيوم) بتركيبة بلورات البلاجيوكليز. وعندما تبرد الصهارة إلى درجة ٨٠٠-١,٠٠٠ ْ مئوية (١,٤٧٠ - ١,٨٣٠ ْ ف) يستنفد بشكل كبير فى بلورات الحديد Fe والمغنيسيوم وMg والكالسيوم Ca . ويتبلور الآن البوتاسيوم فى مسكوفايت ميكا ومعادن الفلسبار الغنية بالبوتاسيوم، ويتحد السيليكون الزائد مع الأكسيجين بدون عناصر أخرى ليكونا المرو المعدنى (الكوارتز).

وكما تتحد العناصر لتكون المعادن، تتكتل المعادن هى الأخرى لتكون الصخور. وللصهارة مجال واسع فى التركيبات مكوِّنة نماذج متعددة ومختلفة من الصخور النارية التى صنفتها أجيال من علماء الجيولوجيا فى منظومات مذهلة من أسماء الصخور. غير أن فكرة واعية ربما تطرأ على الأذهان عند تأمل ثلاثة نماذج فقط من الصهارة وثلاث فصائل من الصخور النارية التى تتكون منها. وهذه النماذج من الصخور تعتمد

على النسبة المئوية للسيليكون والأكسيجين المكونة لها (SiO_4) (الجدول ٦-٤). فإذا بردت الصهارة وتجمدت تحت السطح، تبلورت على شكل صخور جوفية **Plutonic rocks**(*) وسميت كذلك على اسم بلوتو إله العالم السفلى عند الإغريق القدماء. وإذا وصلت الصهارة إلى السطح، تكونت صخور بركانية، **Volcanic rocks** سميت باسم فولكان، إله النار عند الرومان القدماء. ويوضح الجانب الأيمن من الشكل (٦-٦) النماذج الثلاثة الرئيسية للصخور البركانية ويليها تكويناتها المعدنية المهمة. وهذه الصهارة ذات خصائص متباينة نظرا لاختلاف درجات الحرارة ومحتوياتها من الغاز ولزوجتها.

المواد البركانية

تحتوى كل الصهارات على غازات مذابة. وكلما ارتفعت الصهارة إلى السطح تحرر المزيد من الغازات المذابة متأثرا بانخفاض الضغط. وتتحرك الصهارة التى تصل إلى السطح نمطيا على شكل تدفقات من الحمم(**) إذا كان تسرب الغاز سهلا. فإذا احتبس الغاز وظل باقيا فى الصهارة، فربما انفجر فى الهواء على شكل حطام الصخور الفتاتية الحرارية(***).

وتدفقات الحمم تشبه بصفة خاصة صهارة البازلت وتطرح تنويعة من الأنسجة (الجدول ٦-٥). وربما تبرد الحمم العالية السيولة على شكل سطح أملس يشبه الحبال يسمى حمما حبلية ملساء (باهوهو)(****) (الشكل ٦-٧). وتكون الحمم البطيئة التدفق

(*) صخور جوفية (بلوتونية). (**معجم الجيولوجيا**- المترجم)

(**) الحمم- اللابة lava، حمم من صهير الصخر تسيل من فوهة البركان، ويطلق أيضا على الصخر الصلب الناشئ عن تبرد هذه الحمم. (**معجم الجيولوجيا**- المترجم)

(***) صخور فتاتية حرارية pyroclastic rocks- ما يتصلب من مقذوفات البراكين المفتتة فى هيئة رماد أو كسر صغير. (**معجم الجيولوجيا**- المترجم)

(****) لابة الباهوهو pahoehoe- اللابة المتجمدة التى لها سطح ناعم أو حبلى أو متموج ويكثر وجودها بجزر هاواى. (**ما هى الجيولوجيا؟**- المترجم)

والعالية اللزوجة عادة ذات نسيج متكتل خشن يسمى الحمم الصلدة. فإذا وصلت الحمم إلى البحر أو البحيرة بردت بسرعة فى أشكال بيضوية أو شبيهة بمعجون الأسنان تسمى حمماً وسادية.

وتستطيع الانفجارات الغازية التى نتج عنها حطام الصخور الفتاتية الحرارية أن تحطم الصخر والصهارة فى أحجام تتنوع من الرماد حتى الكتل الضخمة والقنابل (الجدول ٦-٥ والشكل ٦-٨). فالصخور الفتاتية الحرارية التى يحملها الهواء ذات الحبيبات الخشنة تترسب أولا من الغلاف الجوى أقرب ما يمكن إلى البركان، ويتبعها تدريجيا المواد الأدق على مسافات بعيدة عن البركان (الشكل ٦-٩). ويمكن تمييز الرواسب الساقطة من الهواء بتطابقها وتصنيف الصخور الفتاتية الحرارية فى طبقات مختلفة الأحجام. ويمكن لحطام الصخور الفتاتية الحرارية كذلك أن يتوهج منفجرا فوق سطح الأرض على شكل تدفقات عالية السرعة مشحونة بالغاز تكدس المواد بسرعة مكونة تطابقا غامضا وبتصنيف بسيط أو بدون تصنيف للجزيئات مختلفة الأحجام.

ويمكن أن تتصلب الصهارة التى تصل إلى السطح بسرعة لا تستطيع معها التبلور لعدم توافر الوقت اللازم للذرات لتنسيق أنفسها فى منظومات البناء الذرى للمواد. وعندما تبرد الصهارة بهذه السرعة ينتج عنها الزجاج (الجدول ٦-٥). ويعرف الزجاج البركانى الصلب بالزجاج البركانى(*). وعندما يتسرب الغاز بسرعة وبعنف من الحمم ربما تنتج عنه رغوة زجاجية مليئة بالثقوب التى خلفتها فقاعات الغاز السابقة؛ وهذه المادة المسامية تعرف باسم الزجاج البركانى الخفاف(**) (الخرفش)، وتحتوى على كثير من الثقوب وتستطيع العوم فى الماء.

(*) (١) الزجاج البركاني- أوبسيديان obsidian: صخر زجاجي بركاني. (**ما هى الجيولوجيا؟**- المترجم)

(٢) سَبَجي- أبسيدي: اسم قديم للزجاج البركاني، ويطلق الآن على كل صخر بركاني ذى بريق زجاجي ومكسر محاري ونسيج شرائطي وتركيب رايوليتي، وغالبا ما يكون أسود اللون وقد يكون أحمر أو أخضر أو بنيا. (**معجم الجيولوجيا**- المترجم)

(**) الخرفش- النشف (بيومس) pumice: صخر بركاني خفيف ذو ثقوب تملؤها الغازات والهواء. (**معجم الجيولوجيا**- المترجم)

حرارة الصهارة ومحتواها من الغاز ولزوجتها

تقاس سيولة السوائل بلزوجتها، أى مقاومتها الداخلية للتدفق. فكلما قلت لزوجة الصهارة زادت خاصيتها السائلة. وتتدفق الصهارة القليلة اللزوجة مثل تدفق الآيس كريم فى يوم حار. وتقل لزوجة الصهارة بثلاث وسائل:

١- تؤدى الحرارة العالية إلى انتشار الذرات متباعدة عن بعضها وبذلك تقل الكثافة وتزيد السيولة. فالصهارة مزيج من السائل والمعادن التى تبلورت منها. وكلما زادت الحرارة زادت النسبة المئوية للسيولة وانخفضت النسبة المئوية لتبلور المعادن.

٢- تزيد الغازات المذابة من السيولة. فالغازات مكون رئيسى فى جميع الصهارات، والماء أكثر الغازات المذابة وفرة. ولارتفاع الحرارة تأثير كبير على حجم الغاز فى الصهارة. فمثلا، يتمدد ١ سم^{٣} من الماء عند درجة قياسية من الحرارة (٢٥° مئوية) وعند الضغط الجوى (مستوى سطح البحر) ليصبح ٤٥٠٠ سم^{٣} عند رفع درجة الحرارة إلى ١٠٠٠° مئوية. وخاصية التمدد هذه تساعد على الطفو.

٣- يزيد ثانى أكسيد السيليكون SiO_4 من لزوجة الصهارة لأن أكسيد السيليكون الرباعى الأسطح الوفير يتحد فى سلاسل وصفائح وشبكات محدثا التحاما وحزما أوثق للذرات يؤدى بدوره إلى صعوبة التدفق.

ويمكن التوصل إلى مفهوم أوضح للخصائص البركانية بدراسة خواص ثلاثة نماذج من الصهارة والصخور التى تنتج عنها وهى: البازلت والآنديسايت والريولايت (الجدول ٦-٦). لاحظ أن أعلى درجات الحرارة وأقل نسبة من ثانى أكسيد السيليكون تتوافر فى صهارة البازلت، مما يؤدى إلى قلة لزوجتها وسهولة تدفقها. وأقل درجات الحرارة وأعلى نسبة من ثانى أكسيد السيليكون تتوافر فى صهارة الريولايت؛ وهى المادة ذات اللزوجة العالية التى تعوق تدفقها عادة. والجدول (٦-٦) يوضح كذلك أن حوالى ٨٠٪ من الصهارة التى تصل إلى سطح الأرض من البازلت وحوالى ١٠٪ فقط من الآنديسايت و١٠٪ من الريولايت. فلماذا هذا الفارق؟ فصهارة البازلت أقل لزوجة ولهذا يصل الكثير منها إلى سطح الأرض. وبمعنى آخر، فإن صهارة الريولايت الأكثر

لزوجة تتباطأ بحيث تميل إلى الاحتباس فى العمق تحت السطح حيث تبرد وتتصلب وتصبح بلورات معدنية أكبر من الصخور الجوفية مثل الجرانيت.

وعندما تبدأ براكين البازلت فى الثورة فى هاواى تصبح حدثا سياحيا: «فتعال لترى تدفق الحمم الحمراء المتوهجة». ورغم أن مثل هذه الثورة تجعل المشهد مثيرا، فإنها حدث آمن نسبيا. فلماذا هو آمن؟ لأن الغازات المذابة تتسرب من الصهارة القليلة اللزوجة بسهولة نسبيا. قارن هذه الخاصية بثورة صهارة الريولايت ذات الحرارة الأقل والنسبة العالية من ثانى أكسيد السيليكون واللزوجة العالية جدا. وعندما تنضح صهارة الريولايت فوق سطح الأرض يقل الضغط داخل الصهارة وتتمدد الغازات فى الحجم. ولكن كيف تتسرب الغازات من احتباسها فى الصهارة اللزجة؟ بالانفجار. وكثيرا ما يموت المشاهدون لثورة صهارة الريولايت. وعندما تصل إلى مرحلة الخطورة البركانية، تصبح أعقد المشكلات كيف تستطيع الغازات المذابة أن تتسرب من الصهارة بسهولة. يقول فرانك بيريت: «الغاز عنصر نشيط والصهارة حاملة له».

حاشية جانبية: البراكين وأصل المحيط والغلاف الجوى والحياة

تسود فى غازات البراكين عناصر: الإيدروجين والأكسيجين والكربون والكبريت والكلور والنيتروجين. وهذه العناصر الغازية تتحد على سطح الأرض لتكون الماء H_2O وثانى أكسيد الكربون CO_2 وثانى أكسيد الكبريت SO_2 وكبريتيد الإيدروجين H_2S وله رائحة البيض الفاسد وأول أكسيد الكربون CO والنيتروجين N_2 والإيدروجين H_2 وحامض الإيدروكلوريك HCl والميثان CH_4 وغازات أخرى كثيرة. والغاز البركانى السائد هو بخار الماء؛ إذ يشكل عادة أكثر من ٩٠٪ من مجموع الغازات.

لاحظ كيف تختلف عناصر الغازات البركانية (الكربون والإيدروجين والأكسيجين والنيتروجين والكبريت والكلور) عن عناصر الصخور البركانية (الأكسيجين والسيليكون والألومينيوم والحديد والكالسيوم والمغنيسيوم والصوديوم والبوتاسيوم). فعناصر الغازات البركانية تكوِّن المحيطات والغلاف الجوى والحياة على سطح الأرض ولكنها

نادرة فى الصخور. وتدفق الحرارة منذ ٤,٥ بليون سنة من باطن الأرض نضح على سطحها كثيرا من العناصر الخفيفة الوزن عن طريق البراكين. وتمر بلايين السنين على ظاهرة البراكين فى الأرض لتشرح أصل القارات والمحيطات والغلاف الجوى وتركيزات عناصر الكربون والإيدروجين والأكسجين والنيتروجين على سطح الأرض وهى العناصر التى تنشأ بها الحياة ويعتمد بقاؤها عليها.

الأشكال الأرضية للبراكين

تشكل الصهارة الصاعدة كثيرا من التضاريس الطبوغرافية على سطح الأرض كما تكوِّن كتلا من الصخور النارية تحت السطح (الشكل ٦-١٠). وربما تحقن الصهارة تحت السطح بين طبقات الصخور وموازية لها ثم تتصلب على شكل كتل تعرف بالجدد(*). كما تعترض الصهارة الكتل الصخرية وتحقن فى الشقوق حتى تملؤها وتعرف حينئذ بالقواطع(**). فإذا تابعت الصهارة الشقوق حتى السطح، فإما أن تتدفق الحمم أو تثور الصخور الفتاتية الحرارية. وإذا سادت الصخور الفتاتية الحرارية ربما تكوِّن مخروطًا من الرماد.

مخروط الرماد البركانى (من البازلتى حتى الآنديسيتى)

يحدث مخروط الرماد البركانى عندما تثور الصهارة المشبعة بالغاز من قناة تصريف البركان مشكلة حطاما من الصخور الفتاتية الحرارية يسقط من الهواء ويبنى تلا مخروطيا نمطيا قليل الارتفاع. وبعد طرد الغاز الزائد من غرفة الصهارة تحت السطح عادة تسيل الحمم من فوهة المخروط الرمادى وتتدفق حول المنحدر.

(*) جُدَّة موازية sill, sheet صخر نارى متدخل لوحى الشكل مواز لطبقات الصخور التى يخترقها. (**معجم الجيولوجيا**- المترجم)

(**) جدة قاطعة، قاطع dike جسم صخرى منضدى وأصل نارى فى العادة ويخترق الطبقات الصخرية المحيطة. (**ما هى الجيولوجيا**- المترجم)

وفى يوم ٢٠ فبراير ١٩٤٣ وُلِدَ بركان جديد عندما ثار منفجرا بعنف فى مزرعة بالقرب من قرية باريكوتين فى المكسيك (الشكل ٦-١١). وثار البركان لمدة ٩ سنوات بانيا مخروطا رماديا بركانيا كبيرا. ودفنت الحمم وحطام الصخور الفتاتية الحرارية المتدفقة حوالى ١٠٠ ميل مربع من الأرض ودمرت مدن باريكوتين وسان جوان دى بارانجاريكوتيرو.

وعندما توقفت الثورة ربما انسدت قناة التوصيل المركزية بالصهارة المتجمدة الصلبة. فإذا كان البركان مكونا فى معظمه من حطام الصخور الفتاتية الحرارية الضعيفة مثل مخروط الرماد البركانى، فإن التحات يمكن أن يزيل المادة الهشة من مخروط البركان تاركا الصخور المقاومة من قناة التوصيل قائمة عالية كعنق البركان (الشكل ٦-١٢).

البراكين المتطابقة (من الآنديسيتى حتى الريوليتى)

والبراكين المتطابقة (ذات الطبقات) أو البراكين المركبة عادة تكون منحدرة الأجناب، والقمم البركانية المتناسقة المبنية من طبقات متبادلة من حطام الصخور الفتاتية الحرارية والتى تتوجها بالتعاقب تدفقات من حمم عالية اللزوجة من الآنديسايت والريولايت تتصلب لتكون كبسولات وقائية. وبعض الجبال الأرضية الفائقة الجمال براكين متطابقة مثل جبل فيوجى فى اليابان وجبل كيليمنجارو فى تنزانيا وجبل شاستا فى كاليفورنيا وجبل رينير فى واشنطن وبركان شيشالوين فى آلاسكا (الشكل ٦-١٣).

البراكين الدرعية (بازلتية)

تكونت معظم صخور البراكين الدرعية من تصلب تدفقات الحمم القليلة اللزوجة من مركبات البازلت. ونظرا لسيولة هذه الحمم المتدفقة فإنها تسير لمسافات كبيرة مثل صب لبن وبيض الفطيرة فوق صاج الخبيز. وكل دفقة من البازلت تبرد لتشكل طبقة

صخور بركانية رقيقة نسبيا ومائلة. وتبرد الآلاف من هذه الدفقات من الحمم فوق بعضها عبر زمن طويل لتبنى بركانا كبيرا. وللبركان الدرعى عرض كبير مقارنة بارتفاعه؛ بينما البركان المركب له ارتفاع كبير مقارنة بعرضه (الشكل ٦-١٤).

وقد تكون للبراكين الدرعية أحجام هائلة مثل تلك التى كوَّنت جزر هاواى. فعادة ما تثور من نطاقات شقوق خطية تفتح على أجنابه اللطيفة الانحدار.

نماذج للثورات البركانية

تُصنَّف المظاهر المختلفة لنماذج الصهارة المتعددة بأسلوب الثورة للبراكين الفردية (الشكل ٦-١٥). ويجرى هذا التصنيف لأغراض عامة؛ فكل بركان يختلف فى مظهر ثورته على مر الزمان.

وأكثر الثورات أمنا هو **النموذج الأيسلاندى**، حيث يتسرب الغاز بسهولة؛ وتشبه دفقات الحمم القليلة اللزوجة الماء كثيرا. وتسيل الحمم من الشروخ لمسافة ٢٥ كم (١٦ ميلا) وتتراكم دفقات الحمم بمرور الزمن لتكوِّن هضابا من طبقات من الصخور البركانية الأفقية تقريبا.

وتشبه ثورات **نموذج هاواى** مثيلاتها الآيسلاندية. ففيها تدفقات بازلتية آمنة تسود فيها الحمم القليلة اللزوجة، ولكن بمرور الزمان، تبنى قمما عالية مقببة للجبال مثل لونالوا وموناكيا.

وتظهر آثار زيادة لزوجة الصهارة على سلسلة مظاهر الانفجار الواضحة فى جنوب غربى إيطاليا على الشاطئ وقبالته. فتزيد قوة الانفجار من سترومبولى إلى فولكانو حتى فيزوف. **فنموذج ثورة سترومبولى** يمثله بركان سترومبولى الذى ظل ثائرا تقريبا لعدة قرون. فبحيرة الحمم المركزية تتوجها قشرة باردة. ويتجمع ضغط الغاز سريعا تحت القشرة، وتحدث ثورات صغيرة لفترات قليلة كل ساعة. وحتى دورة المد تمزق قشرة بحيرة الحمم بحيث تثور الثورات. وعلى أية حال، ليست ثورات سترومبولى قوية بالقدر الكافى الذى يكسر مخروط البركان، بينما النماذج التالية قد تنسف الجبل البركانى.

وثورات **النموذج الفولكانى** وجميع البراكين استمدت اسمها من فولكان إله النار وحدّاد الآلهة عند الرومان. والنموذج الأصلى للبركان يقع فى جزر أيوليا فى البحر التيرانى شمالى صقلية. فالنار والدخان المنبعثان من قمة الجبل تذكِّر المشاهدين بمدخنة ورشة حدادة فولكان، ولهذا سمى الجبل فولكانو. وتتنوع ثورات النموذج الفولكانى من الحمم الغليظة القوام العالية اللزوجة وكتل المواد الصخرية الفتاتية الحرارية التى يقذفها البركان. وثورات النموذج الفولكانى شائعة كذلك فى المراحل الأولى لثورات البراكين الأخرى حيث تفتح الطريق للثورات الكبرى.

وأشد الانفجارات وأعنفها ثورة **النموذج الفيزوفى** حيث ترتفع لزوجة الصهارة ويزيد محتواها من الغازات المحتبسة. وتغطى المادة المقذوفة أثناء الثورة مساحات واسعة. وأعنف الثورات فى النموذج الفيزوفى هى ثورة **النموذج البلاينى** الذى سمى باسم بلاينى الأب تخليدا لذكرى ملاحظاته على ثورة بركان عام ٧٩ ميلادية. والنموذج البلاينى مرحلة نهائية شائعة فى سلسلة الثورات الكبرى. فالطريق الآن مفتوح والثورات العمودية التى لا يصدقها العقل من الغازات تقذف رمادا وحطاما من الصخر الزجاجى لعدة أميال فى الغلاف الجوى.

وتستمد ثورات **النموذج البيلى** اسمها من جبل بيلى فى جزيرة مارتينيك فى البحر الكاريبى. وفى هذا النموذج من الثورة تكون الصهارة عالية اللزوجة والتدفق صعبا لدرجة أن حلق البركان ربما تسده الصهارة اللزجة ويتصرف ضغط الغاز بقذف قمة البركان أو جانبه.

حاشية جانبية: معدل الانفجارات البركانية

كم يتكرر حدوث الثورات البركانية الكبيرة؟ فى المتوسط حوالى مرة كل ثلاث سنوات طبقا لدليل قوة انفجار البراكين. وبمزج السجل التاريخى بالمعلومات الجيولوجية المخزنة فى سجل الصخور؛ نرى أن ثورات البراكين الكبرى التى حدثت بين عامى ١٥٠٠ حتى ١٩٨٠ تم تقديرها بحسب الحجم. وتشمل عناصر التقييم: (١) حجم

المادة المثارة، (٢) ارتفاع عامود الثورة، (٣) مدة استمرار الانفجار الثورى الكبير (الجدول ٦-٧). وخلال الفترة التى تمت دراستها البالغة ٤٨١ عاما حدثت ١٢٦ ثورة كبرى مع تزايد العدد فى الوقت الحديث. ويرجع السبب فى زيادة الثورات الكبرى فى القرنين التاسع عشر والعشرين لتطور التبليغ عن الأحداث وليس للزيادة الفعلية فى حدوث الثورات الكبيرة.

ويتراوح معدل قوة الانفجارات البركانية ما بين صفر وثمانية. وكان أكبر بركان وقع منذ عام ١٥٠٠ ميلادية وقوته الانفجارية ٧ فى تمبورا فى إندونيسيا عام ٨١٥. وتسببت هذه الثورة فى برودة مناخ العالم فى السنة التالية له (انظر الفصل التاسع). وحدثت أربعة أحداث بقوة انفجارية ٦ فى فترة زمنية طولها ٤٨٠ سنة شاملة ثورة كراكاتاو كذلك فى إندونيسيا فى عام ١٨٨٣ (وسيأتى وصفها فيما بعد فى هذا الفصل). والأحداث البركانية ذات القوة الانفجارية العالية هى التى حدثت بنماذج ڤيزوف وبيلى وبلايني.

نموذج بركان آيسلاند

تدفقات الحمم فى ١٩٧٣. تدل قصة آيسلاند الحديثة على أن الناس يستطيعون العيش فى رخاء وسعادة بعد ثورة البركان البازلتى. وتوضح ثورات ١٠٧٣ التى حدثت فى جزيرة هايميى الواقعة على الساحل الجنوبى لآيسلاند الطبيعة الآمنة لهذه الثورات. وقد بنيت مدينة فستمانيار بجوار ميناء الصيد الأول فى آيسلاند. والميناء الآمن هو نفسه هبة البراكين؛ فقد تكوَّن بين تدفقات حممية قديمة. وفى يوم ٢٣ يناير ١٩٧٣ انشق شرخ على بعد ١ كم (٣٣٠٠ قدم) من مدينة يسكنها ٥٣٠٠ نسمة (الشكل ٦-١٦). وبحلول باكورة يوليو كانت ثورة البركان تقذف ٢٣٠ مليون متر مكعب من الحمم (الشكل ٦-١٧)، و٢٦ مليون متر مكعب من مواد الصخور الفتاتية الحرارية. وزادت تدفقات الحمم من حجم الجزيرة بنسبة ٢٠٪. وتسربت الغازات أثناء سلسلة الثورات، بخلاف بخار الماء، وأغلبها من غازات ثانى أكسيد الكربون وكميات أقل من الإيدروجين وأول أكسيد الكربون والميثان CH_4. والوفاة الوحيدة التى حدثت كانت لشخص اختنق فى مبنى امتلأ بالغاز.

وبدأت تدفقات الحمم المبكرة على هايميى تملأ الميناء وتدمر حوالى ٣٠٠ مبنى ودفنت الصخور الفتاتية الحرارية ٧٠ مبنى أخر. ولكن المواطنين فى آيسلاند تغلبوا على الصعاب. فكسحوا بالجرافات المواد الصخرية الفتاتية الحرارية لإنشاء حواجز حولت مجرى التدفقات التالية من الحمم حتى سيطروا عليها كما سيطروا على ممرات تدفق الغازات البركانية المتكثفة. ولإنقاذ مينائهم وسبل معيشتهم الاقتصادية رش المواطنون الآيسلانديون مياه البحر فوق تدفقات الحمم، مما أدى إلى سرعة تبريدها وتجمدها على شكل حوائط اضطرت الحمم إلى التدفق بعيدا فى اتجاهات أخرى (الشكل ٦-١٨). وهذا العمل منع الميناء من الامتلاء والقفل إذ اتسع الميناء الآن وزاد حجمه وصار أفضل مما كان عليه قبل ثورة البركان فى ١٩٧٣ (الشكل ٦-١٦).

وعندما توقفت الثورات أقام الناس خط أنابيب ليصب الماء على الكتلة التى بلغ سمكها ١٠٠ متر (٣٢٥ قدما) من الحمم البطيئة التبريد. وأقيمت مضخات ترجيع لسحب الماء الذى بلغت درجة حرارته ١٩٦° ف وضخه إلى المدينة حيث استخدموه فى تدفئة المنازل. وليس من الضرورى أن تكون الثورات البركانية البازلتية فتاكة. فالناس يمكنهم أن يتعايشوا مع البراكين فى وئام مع تحمل بعض المضايقات.

نموذج بركان هاواى

وثورات نموذج بركان هاواى، مثل جميع ثورات البراكين تقريبا، فتسبقها عادة سلسلة من الزلازل حيث يتشقق الصخر ويتحرك مفسحا الطريق أمام الصهارة المنتفخة. وعندما تمزق هذه الشقوق سطح الأرض يقل الضغط فجأة فتسمح للغازات بالتسرب من قمة كتلة الصهارة. وقد يؤدى هذا إلى وجود ستارة من النار حيث تشكل نافورات الغازات المتسربة خطوطا من نافورات الحمم يبلغ ارتفاعها أكثر من ٣٠٠ متر (١٠٠٠ قدم). والسائد كذلك فى ثورات هاواى تكوين مخروط منخفض ذى نافورات عالية من الصهارة. وبعد تسرب الغاز مبدئيا تتدفق فيضانات كبيرة من الحمم البازلتية من الشروخ وتسيل على منحدرات الجبال على شكل أنهار حمراء ساخنة (الشكل ٦-١٩). وتستمر هذه الثورات من بضعة أيام حتى عام أو يزيد. ورغم أن قليلا من

الأرواح تزهق فى براكين هاواى، فإن تدفقات الحمم الجارفة تحيط بالمبانى وتحولها إلى رماد وتدفن الطرق السريعة وتسبب انخفاضا فى قيمة البيوت والممتلكات بعد التدفقات الأخيرة وتؤدى ببعض ملاك العقارات إلى أن يفقدوا صوابهم.

ومن البراكين فى هاواى القادرة على الثورة بركان هيليكالا فى جزيرة ماوى، والبراكين الخمسة التى صنعت جزيرة هاواى، بالإضافة إلى بركان لويهى المتنامى الذى لا يزال تحت سطح البحر. وفى ٢٠٠ سنة الماضية ثارت ثلاثة براكين فقط فى أقصى الجنوب فى جزيرة هاواى وتحت سطح البحر فى لويهى. وتبعد الجزيرة المرتقبة لويهى حوالى ٣٠ كم (١٩ ميلا) قبالة الشاطئ الجنوبى الشرقى لهاواى. وتبلغ قمة لويهى حوالى ٩٦٩ مترا (٣ر١٧٥ قدما) تحت سطح البحر ويكبت ضغط ماء المحيط الذى يعلوها القوة الانفجارية للثورة حتى الآن، ولكن البركان يتنامى فى الارتفاع بطريقة عجيبة.

نموذج بركان فيزوف

حدث بركان فيزوف فى عام ٧٩ ميلادية. وربما كان بركان فيزوف أشهر البراكين على الإطلاق، وأشهر ثوراته ما وقع فى عام ٧٩ ميلادية. وحينئذ دفنت مدينتا بومبيى وهيركيولينيوم وراحتا طى النسيان لمدة تزيد على ١,٥٠٠ عام. بدأ بركان فيزوف فى الثورة تحت سطح الماء فى خليج نابولى. وتزايد حجمه كثيرا وملأ حطامه الصخرى الماء الذى كان يفصله عن اليابسة فى إيطاليا (الشكل ٦-٢٠). فما سبب ثورة البركان فى فيزوف والبراكين المجاورة فى سترومبولى وفولكانو وإيتنا وغيرها؟ انضواء قاع البحر المتوسط تحت أوروبا ليفسح المجال لأفريقيا فى التحرك شمالا.

وصل التحذير المسبق للثورة فى ٥ فبراير عام ٦٢ ميلادية، عندما دمر زلزال كبير معظم بومبيى وسبب خسائر فادحة فى هيركيولينيوم ونيابوليس (نابولى). وشاع حدوث الزلازل رغم أنها لم تكن كبيرة فى ١٧ سنة التالية. وكانت بومبيى مركزا تجاريا لعدة قرون. وفى عام ٧٩ ميلادية كان تعدادها يبلغ ٢٠٠٠٠ نسمة؛ منهم ٨٠٠٠ من الرقيق. وصفها روبيرت إيثين قائلا:

كانت مدينة بومبيي مدينة متوسطة يسكنها قوم متوسطون؛ وقد حققت براعة فائقة ومرت بسلام في ركب التاريخ الهادئ، وليت الكارثة المفاجئة بثورة البركان لم تمحها من عالم الأحياء.

كان يوم ٢٤ أغسطس عام ٧٩ ميلادية يوما صيفيا حارا، ولكن بركان فيزوف بدأ يثور فأصبح اليوم أشد حرارة (انظر الشكل ٦-٢١ كأحد الأمثلة الحديثة). قذف بركان فيزوف ٤ كم^3 من المواد الصخرية الفتاتية الحرارية. ودمر حوالى نصف المخروط البركاني القديم. وكانت بومبيي تقع تحت الريح فدفنت تحت فتات الزجاج الخفاف الذى تراكم على عمق ٣ أمتار (١٠ أقدام) (الشكل ٦-٢٠). ولم يكن الموت سريعا دائما؛ إذ وجدت بعض الجثث داخل بيوتها فوق قمة طبقات سميكة من الزجاج الخفاف، مما يدل على أن الناس ظلت تقاوم لعدة ساعات أملا فى النجاة من الموت. وقد أمسكت أيديهم بقطع من القماش فوق أفواههم وهم يحاولون اجتناب الاختناق من الغازات التى كانت تتسرب من الزجاج الخفاف (الشكل ٦-٢٢).

ووُجِدَ البعض الآخر بالقرب من البحر؛ إذ تيسر لهم الوقت للهروب من الزجاج الخفاف المتساقط، ولكن التدفقات من الصخور الفتاتية الحرارية المليئة بالغازات الساخنة والقريبة من الأرض أجهزت عليهم (انظر الشكل ٦-٢٣ كمثال حديث). ومات ٤٠٠٠ شخص. ودمر كذلك معظم مدينة ستابياى الأبعد منها. وهنا مات بلاينى الأب؛ إذ تحطم القلب الضعيف للرجل البدين تحت ضغط أكثر التدفقات احتواء للغاز وأبعدها امتدادا. وكان عمره ٥٦ عاما. وتسمى الثورات العمودية العملاقة بلاينية تخليدا لاسمه (الشكل ٦-١٥).

وعقب ثورة البركان المحملة بالزجاج الخفاف، دخل البركان مرحلة ثانية قذف فيها أحجاما هائلة من الرماد إلى ارتفاع ٣٢ كم (٢٠ ميلا) فى الغلاف الجوى (مرحلة بلاينى). وتفاوت ارتفاع عامود الرماد بتفاوت طاقة البركان بين القوة والضعف. ففى فترات الضعف ينهار اضطراريا عامود الرماد الرأسى الكبير باعثا موجات ودفقات من الصخور الفتاتية الحرارية على جوانب البركان المنحدرة. ودفنت بومبيى تحت حطام الصخور الفتاتية الحرارية البالغ عمقها ٦ حتى ٧ أقدام. وكانت تلك التدفقات هى التى قضت على البقية الباقية من الأحياء فى بومبيى.

وأضر الرماد الناعم الذى هبط من ارتفاعات شاهقة بأقاليم كثيرة. وكان بلاينى الابن فى مدينة ميزينوم حين كتب يقول:

والآن أقبل الرماد، ولكنه كان فى أول الأمر نادرا. واستدرت حولى. وكان وراءنا دخان كثيف كئيب، ينتشر فوق الأرض كالفيضان فى أعقابنا. وقلت لأمي: «دعينا نهرب إلى الحقول ونحن لا نزال نرى الطريق». فقد خشيت أن تسحقنا أقدام عامة الناس وهم يتزاحمون على الطريق فى الظلام الدامس. ولم نكد نوافق حتى داهمنا الليل - ليس ليلا بلا قمر أو تعتيما بفعل السحب، بل ظلام كظلام غرفة محكمة القفل بلا أضواء. ولم نسمع إلا صراخ النساء ونحيب الأطفال وصياح الرجال. فالبعض ينادى على آبائهم وأمهاتهم والآخرون ينادون على أطفالهم وغيرهم يبحثون عن زوجاتهم - لا يعرف بعضهم بعضا إلا بالأصوات. وبكى بعضهم على نفسه والبعض الآخر على ذويهم. وكان هناك أناس اشتد خوفهم من الموت حتى صاروا يتمنونه. ورفع الكثيرون أكف الضراعة إلى آلهتهم، وكان هذا هو آخر الليالى الخالدة فى العالم.

وثورة بلاينى لا تقذف رمادا إلى الارتفاعات العالية فقط؛ بل تقذف غازات بركانية أيضا. ويمكن أن يقذف الماء على هيئة بخار غزير إلى أعلا فى الغلاف الجوى حيث يبرد ثم يتكثف ثم يسقط على شكل أمطار غزيرة. ولبعض الثورات البركانية طقس خاص بها. فالمطر المتساقط فوق أكوام سميكة من حطام الصخور الفتاتية الحرارية المتراكمة بدون استقرار على الأجناب الشديدة الانحدار للبركان فيزوف يحدث تدفقات طينية بركانية سميكة (الشكل ٦-٢٤). وهذه الكتل المتحركة بفعل الجاذبية من الحطام البركانى الطينى تعرف بالتدفقات الطينية التى يسميها الإندونيسيون لاهار(*)

(*) اللاهار (معربة من الإندونيسية) lahar الانسياب الوحلى البركانى. (**معجم الجيولوجيا**- المترجم)

(انظر الشكل ٦-٢٥ كمثال حديث). ودفنت التدفقات الطينية البركانية مدينة هيركيولينيوم فى طبقة عمقها ٢٠ مترا (٦٥ قدما) من الزجاج الخفاف والرماد وفتات الصخور البركانية التى اختلطت كلها فى كتلة بلا نظام. وعلى أية حال، كان هذا فى المرحلة الثانية من الثورة حيث استغل معظم الناس اليوم أو اليومين السابقين للهجرة خارج المنطقة؛ ولهذا لم تكن الخسائر تقريبا مثل خسائر بومبيى. والآن، تقع مدينة إيركولانو فوق تدفقات الطين التى دفنت هيركيولينيوم. ولم يع الناس هنا دروس التاريخ.

وتقدِّم لنا توقيتات الثورات الكبرى لفيزوف دروسا مهمة. والواضح أن فيزوف لم يثر ثورة كبرى منذ القرن السابع قبل الميلاد حتى عام ٦٩ ميلادية؛ إذ عاش الناس ٧٠٠ سنة على الأقل بعيدا عن الخوف وينعمون بالتربة الزراعية الخصبة فى فيزوف. وبعد عام ٧٩ ميلادية حدثت ثورات كثيرة متعددة فى الأعوام: ٢٠٣ و٤٧٢ (غطى الرماد كثيرا من بقاع أوروبا) و٥١٢ و٦٨٣ و٩٩٣ و١٠٣٦ (أول تدفقات حممية فى الزمن التاريخى) و١٠٤٩ و١١٣٨ و١١٣٩. ثم مرت ٥٠٠ سنة أخرى تقريبا؛ وهو زمن يكفى لنسيان الماضى وإعادة احتلال الجبل. ولكن فى عام ١٦٣١ صب فيزوف بسرعة كميات كبيرة من الحمم التى دمرت ست مدن؛ وخربت التدفقات الطينية تسع مدن أخرى، ومات حوالى ٤٠٠٠ نسمة. والفترات الزمنية الطويلة للهدوء النسبى خلال ٢٧٠٠ سنة الأخيرة - بمعدل بركان واحد كل ٧٠٠ عام وآخر كل حوالى ٥٠٠ سنة - تبدو أوقاتا طويلة بالنسبة لزمن الحياة القصيرالذى يعيشه الإنسان المتعطش للأرض، وهى أوقات مبرمجة للبركان النشيط. ويؤدى القصور فى تقدير الزمن الذى يمضى بين الثورات إلى نشاط العديد من البراكين التى اعتبرها الإنسان خامدة بالخطأ.

ومنذ عام ١٦٣١ والثورات فى معظمها من نموذج سترومبولى، ولهذا فهى ليست شديدة الخطورة. وهناك ١٨ دورة لثورات ما بين عامى ١٦٣١ و١٩٤٤؛ استمرت الثورة ما بين سنتين حتى ٣٧ سنة مع فترات هدوء تتراوح ما بين ٥,٠ سنة حتى ٦,٨ سنوات. ومنذ عام ١٩٤٤ وفيزوف هادئ. فهل تُعدُّ هذه الفترة من الهدوء المسرحَ لثورة كبيرة لبركان من نموذج فيزوف/بلاينى؟ ليس الأمر مؤكدا، ولكن فلنتدبر أن أكثر من ثلاثة ملايين نسمة يعيشون الآن على مرمى فيزوف منهم حوالى مليون يعيشون على سفوح فولكانو.

الكالديرات المنهارة

والكالديرات(*) المنهارة نمط آخر من أنماط النشاط البركاني. ولهذه العملية آثار كبيرة في جميع أنحاء العالم.

بحيرة كريتر (ماونت مازاما) فى أوريجون

تعتبر بحيرة كريتر إحدى الجواهر فى نظام المنتزه الوطنى. فماؤها الأزرق العذب الرقراق آسن بين حواف عالية تشبه الحوض شبه المستدير. وقطر بحيرة كريتر حوالى ٩,٥ كم (٦ أميال) وعمقها ٥٨٩ مترا (١,٩٣٢ قدما) (الشكل ٦-٢٦).

ومنذ عدة آلاف من السنين وجبل مازاما يبلغ ارتفاعه حوالى ٣٦٦٠ مترا (١٢٠٠٠ قدم) (الشكل ٦-٢٧ أ). ومنذ حوالى ٧,٦٧٩ عاما بدأت ثورة كبرى تقذف صهارة لزجة من الجبل على شكل زجاج خفاف مملوء بفقاقيع الغاز والرماد (الشكل ٦-٢٧ ب). وكانت درجة لزوجة الصهارة عالية إلى درجة تمنعها من التدفق سائلة، ولهذا ثارت على شكل صخور فتاتية حرارية متدفقة وأعمدة بلايني. وكلما زاد حجم المادة المقذوفة غطى حطامها كثيرا من منطقة الشمال الغربى المطل على المحيط الهادى وجزءا من كندا بطبقة سميكة من الرماد المتميز الذى يسهل التعرف على خواصه بما فيها اكتشاف وجوده فى طبقة الثلج فى مثلجة جرينلاند التى تكونت فى موسم سقوط الجليد فى عام ٦٧٧، قبل الميلاد. وقذف البركان حوالى ٤٠ كم^3 من الصهارة. وتركت عملية إخلاء هذا الحجم الهائل من الصهارة فجوة هائلة تحت السطح أدت إلى إضعاف الجبل وانهيار قمته فى غرفة الصهارة المفرغة (الشكل ٦-٢٧جـ). وأدى الانهيار إلى إيجاد كالديرا، وهى منخفض عظيم يزيد حجمه عدة مرات عن قناة تصريف البركان. وقد جمعت الكالديرا الماء لبحيرة كريتر واحتوت على المخروط

(*) كالديرا caldera منخفض عظيم فى أعلى البركان يحل محل القمة التى نسفها البركان فى أثناء أحد انفجاراته الشديدة، وقد يبلغ قطر الكالديرا عشرة كيلو مترات أو أكثر. (معجم الجيولوجيا- المترجم)

التابع المتنامى البالـغ من العمر ١٠٠٠ سنة المسمى جزيرة ويزارد (الشكلان ٦-٢٧ د و ٦-٢٨ أ).

وأضـرت ثورة جـبل مـازامـا بالهنود الأمـريكيين كـمـا يـتـضـح ذلك من الأحـذية والمشغولات الصناعية التى وجدت تحت طبقات الرماد المتميزة. فماذا تمخضت عنه أحداث انهيار الكالديرا فى مناطق أخرى؟

كراكاتاو فى إندونيسيا فى ١٨٨٣

كراكاتاو (كراكاتوا) الآن عبارة عن مجموعة جزر إندونيسية فى مضيق ساندا بين سوماطرة وجاوة. وهى جزء من قوس البراكين الكبير الذى تكوَّن فوق لوح أستراليا - الهند المنضوى. وهى بركان مـخـروطى كبير ظهر فى المحيط ثم انهار. ولا يزال مخططها الكبير متميزا (الشكل ٦-٢٨ ب).

ومن حطام الانهيار السابق ارتفع نشاط الصهارة إلى أعلى خلال القرن السابع عشر. وبعد قرنين من الخمود استأنف البركان نشاطه فى يوم ٢٠ مايو عام ١٨٨٢. وبحلول شهر أغسطس ١٨٨٣ حدثت ثورات فيزوفية متوسطة الحجم من حوالى عشر منافذ. فهل وفرت الأميال من المحيط المتداخل الحماية للناس من ثورات البراكين؟ ففى أحد الانفجارات المعروفة تدفقت الصخور الفتاتية الحرارية المشبعة بالغازات الحارة واندفعت فوق سطح البحر لمسافة ٤٠ كم (٢٥ ميلا) حتى وصلت إلى مدينة كاتيمبانج الساحليه فى سوماطرة حيث قتلت حوالى ٢٠٠٠ نسمة حرقا.

وفى الساعة ٢ من مساء يوم ٢٦ أغسطس دفع انفجار كبير الرماد والزجاج الخفاف إلى ارتفاع ٢٨ كم (١٧ ميلا) عندما انهار أحد المخروطات فى البحر، وأحدث موجات سنامية ضخمة. وكانت الثورات ضوضائية صاخبة بحيث استحال النوم ليلا فى غربى جاوة، بما فيه العاصمة جاكارتا (المسماة باتافيا فيما بعد). وعمت الساعات المبكرة من صباح يوم ٢٧ أغسطس ثورات تصم الآذان وانهيارات بركانية أخرى دفعت المزيد من الموجات السنامية التى دمرت القرى الساحلية. وتحول النهار إلى ليل حالك

الظلمة من السحب الكثيفة من الرماد البركانى. وفى الساعة ١٠ صباحا ضرب انفجار مذهل سحابة متوهجة من الزجاج الخفاف المتوهج والرماد ودفعها إلى ارتفاع ٨٠ كم (٥٠ ميلا) فى الغلاف الجوى. وسمع هذا الانفجار بوضوح على بعد ٥٠٠٠ كم (٣٠٠٠ ميل).

وفى الساعة ١٠ صباحا دفع الانهيار البركانى موجات سنامية إلي أعلى من ٢٥ مترا (١١٥ قدما) لتكتسح الخلجان على طول سواحل جاوة وسوماطرة المنخفضة. وتسببت الثورات البركانية فى موجات سنامية دمرت ٢٩٥ مدينة ودهمت وأغرقت عددا يقدر بحوالى ٣٦٠٠٠ نسمة. وقذفت سلسلة الثورات ١٨ كم^{3} من المواد (٩٥٪ منها صهارة جديدة و٥٪ صخور قديمة منسحقة)، محدثا ثقبا تحت سطح الأرض استوعب ٢٣ كم^{3} من الأرض التى انهارت فيه (الشكل ٦-٢٨ب). وحيث ارتفعت جزر بمقدار ٤٥٠ مترا (١٫٤٧٦ قدما)، يوجد الآن ثقب فى قاع البحر عمقه ٢٧٥ مترا (٩٠٠ قدما).

وكانت كمية الصهارة المتدفقة فى كراكاتاو فى عام ١٨٨٣ أقل من نصف ما تدفق فى جبل مازاما. ولكن كراكاتاو انهارت فى البحر محدثة أمواجا عاتية.

وفى عام ١٩٢٧ قفز من جديد مخروط بركاني فى كراكاتاو؛ وسمى آناك كراكاتاو أى «طفل كراكاتاو»، الذى لا يزال ينمو (الشكل ٦-٢٨ب). ولا نزال نسمع الكثير من كراكاتاو.

سانتورينى وقارة أطلنطيس المفقودة

وثيرا هى أكبر جزيرة فى المجموعة الدائرية التي تميز البقايا الغارقة من بركان سانتورينى الكبير فى بحر إيجة (الشكل ٦-٢٨جـ). فثيرا اليوم واحدة من أهم المناطق الشعبية السياحية فى الجزر الإغريقية (الشكل ٦-٢٩)، ولكن فى حوالى عام ١٦٢٨ قبل الميلاد، وقعت فى سانتورينى سلسلة ثورات انفجارية دفنت تحتها مدينة أكروتيرى فى ثيرا وهى مدينة العصر البرونزي إلي عمق ٧٠ مترا (٢٣٠ قدما) فى أربع مراحل مميزة.

فى المرحلة الأولى: نشاط بركانى تمثل فى طبقة سمكها ٦ أمتار (٢٠ قدما) من الزجاج الخفاف الذى ترسب من الهواء والذى دفن المبانى واحتفظ بها وبالمشغولات الفنية فى آكروتيرى (الشكل ٦-٣٠). ويستخلص الزجاج الخفاف عندما لا يكون هناك ماء يتفاعل مع الصهارة، ولهذا فلابد أن تكون الثورة من فوق مستوى سطح البحر. وهبوط الزجاج الخفاف لا يشترط أن يكون فتاكا، فهو يعطى الفرصة دائما للعقلاء ليعوا الإنذار ويهجروا المكان. وعندما بدأت الثورات التقط معظم أهالى آركوتيرى ما خف حمله وغلا ثمنه من أموالهم ورحلوا. أما جميع الشجعان الذين لم يخشوا البركان فقد ظلوا فى منازلهم وأموالهم حتى ماتوا فى المرحلة الثانية.

وفى المرحلة الثانية: تكونت رواسب سمكها عدة أمتار من كثرة الماء الساخن السريع التدفق الذى ملأ المنطقة. حدث هذا عندما وصل ماء البحر إلى غرفة الصهارة المطروحة، وتسرب على شكل انفجارات بخارية مدمرة.

وفى المرحلة الثالثة: ترسبت كتل من الصخور الفتاتية الحرارية والمختلطة بالرماد والزجاج الخفاف وفتات الصخور الكبيرة التى تساقطت من الهواء وتراكمت فى طبقة سمكها ٥٦ مترا (١٨٠ قدما). وهذا المخلوط الهائل حدث عند انهيار المخروطات البركانية فى وسط سانتوريني.

وفى المرحلة الرابعة: كوَّنت الرواسب طبقات من الرماد وشذرات الصخور الصغيرة التى تكونت أثناء التسرب الأخير للغازات من كتلة الصهارة عندما تجشأت وخرجت متعلقة بالأرض على شكل سحابات غازية ساخنة. وحيث كانت هناك جزيرة كبيرة تكونت من عدة مخروطات بركانية، توجد الآن كالديرا ضخمة عمقها ٣٩٠ مترا (١,٢٨٠ قدما) تحت مستوى سطح البحر. فما هى آثار هذه الثورة على عالم البحر المتوسط؟

كانت آكروتيرى مدينة مهمة، إذ كانت جزءا من الحضارة المينَويَّة وموطنها كريت؛ حيث كانت للمينويين حضارة متطورة. ففى عام ١٦٢٨ قبل الميلاد كانت توجد فى آكروتيرى منازل ذات ثلاثة طوابق وشوارع مرصوفة وصرف صحى أسفلها محدد بالأحجار، وصناعة متطورة للسيراميك والمشغولات الذهبية؛ وكانت لها تجارة

مع جيرانها الأقل منها تقدما مثل قبرص وسوريا ومصر والإغريق؛ وفيها اللوحات الجصِّية الملونة التى تدل على ثرائهم ورخاء معيشتهم. وباختصار، كان لهؤلاء المينويين مستوى معيشة أرقى من كثير من الشعوب التى تعيش فى هذا العالم اليوم منذ ٣٦٠٠ سنة.

والانهيار المفاجئ فى هذا الجزء من الحضارة المينوية لابد أن يكون ترك انطباعا أزليا لا يمحى فى أذهان الشعوب فى ذلك الوقت. والحقيقة أن هذا ما أنبأنا به أفلاطون عندما ذكر اختفاء إمبراطورية جزيرة آتلانتيس، التى «اختفت فى يوم وليلة تحت سطح البحر» بعد زلازل عنيفة وفيضانات جارفة. عاش أفلاطون فى بلاد الإغريق من عام ٤٢٧ حتى عام ٣٤٧ قبل الميلاد، وذكر القصة فى حواره مع المؤرخ كريتياس الذى روى قصة زيارة سولون(*) إلى مصر حيث تعلم رواية آتلانتيس من الرهبان المصريين في تاريخهم الشفوى. وبعد الحدث بحوالى ١٢٠٠ سنة كتب أفلاطون وصفا دقيقا ومعقولا لانهيار إحدى الكالديرات بسبب الزلازل والفيضانات (موجات عاتية أو سنامية)، ولغرق إحدى الكتل الأرضية تحت سطح البحر فى يوم وليلة.

وتبدو الثورة البركانية وانهيار الكالديرة فى البحر عند سانتورينى مشابهة لأحداث كاركاتاو بعد ٣٥٠٠ سنة فيما عدا كبر حجم حادثة سانتورينى؛ إذ يقدر حجم المقذوفات من ثورة بركانها ٣٠ كم^{3} من صهارة الريولايت. انظر إلى خريطة إقليم بحر إيجة؛ فهو واحد من أغنى المناطق بالجزر فى العالم. ولابد أن تكون للموجات السنامية آثار مدمرة على المدن الساحلية وعلى الشعوب، كما تركت انطباعات عميقة فى نفوس الناجين من الهلاك الذين رووا ذكرياتهم للأجيال اللاحقة. فرواية أفلاطون وحفائر(**) علماء الآثار وخبرات علماء البراكين تشير جميعها إلى قصة متناغمة بشكل ملحوظ.

(*) سولون Solon، رجل القانون الشهير فى أثينا (٥٩٤ ق.م.) ورجل الدولة الإغريقى وأحد الحكماء السبعة فى بلاد الإغريق. (**معجم تشيمبرد**- المترجم)

(**) الحفيرة: ما يحفر للكشف عن الآثار؛ جمع حفائر. (**المعجم الوسيط**- المترجم)

موجز

ترتفع بعض الحرارة الداخلية فى الأرض إلى أعلى لتغلى الماء وتسيل الصخر وتثور على السطح على شكل فوارات(*) وبراكين. والصخر الساخن فى الأعماق يرتفع بخاصية الطفو. وهذا الصخر قد يسيل ويصبح صهارة ذات حرارة زائدة، ويقل الضغط و/أو يزيد محتواها من الماء. وعندما تقترب الصهارة من السطح تتسرب الغازات من المحلول وتساعد على ثورة البركان. وسواء أثارت الصهارة بأمان أو بانفجار فإن ذلك يرجع إلى نموذج الصهارة. فَتَحْتَ أحواض المحيط تكون الصهارة فى تركيبها بازلتية. وهذه الصهارات تحتوى على قليل من ثانى أكسيد السيليكون SiO_2 وعلى درجة حرارة عالية ولزوجة قليلة وتسرب سهل للغازات محدثة ثورات آمنة. وتحت القارات تكون الصهارات البازلتية المرتفعة ملوثة برواسب وصخور من القشرة الأرضية فتغير من تركيب الصهارة. والصهارات من الآنديسايت حتى الريولايت الناتجة تحتوى على نسبة عالية من ثانى أكسيد السيليكون. والحرارة المنخفضة نسبيا واللزوجة العالية مما يجعل الغازات تتسرب منها بصعوبة، محدثة ثورات متفجرة.

وعندما تصل الصهارة إلى السطح وتتسرب الغازات بسهولة تتدفق الحمم. وربما كونت تدفقات الحمم ذات اللزوجة القليلة براكين درعية اتساعها أكبر من ارتفاعها مثل هاواى. فإذا احتبست الغازات فى الصهارة حدثت انفجارات ينتج عنها اندفاع حطام الصخور الفتاتية الحرارية المتوهجة فى الهواء. وربما تكوَّن مخروط بركانى منحدر حول فتحة تصريف البركان عند هبوط حطام الصخور الفتاتية الحرارية، مثل باريكيوتين. وتكوِّن القمم البركانية العالية المتناسقة عادة براكين مركبة من تدفقات متبادلة من الحمم والمواد الصخرية الفتاتية الحرارية مثل جبل سانت هيلانة.

ودليل قوة انفجار البراكين يقيس حجم الثورات البركانية على مقياس يتدرج من صفر حتى ٨. وما بين عامى ١٥٠٠ و١٩٨١ حدثت ثورة واحدة قوتها ٧ (تامبورا فى ١٨١٥) وأربعة ثورات قوتها ٦ على دليل قوة انفجار البراكين (مثل كراكاتاو فى ١٨٨٣).

(*) فار الماء فورا، وفورانا: خرج من الأرض وجرى متدفقا. الفُوَّارة: ما يفور. (**المعجم الوسيط**- المترجم)

وتتكـون الكالديرات المنهـارة عنـدما تكوِّن غرفة الصهارة الفارغة جبلا ضعيفا لا يقوى على البقاء فتنهار قمته وتسقط (مثل بحيرة كريتر فى أوريجون). فإذا سقطت القمة فى المحيط أحدثت موجات سنامية عاتية (مثل سانتورينى فى ١٦٢٨ قبل الميلاد؛ وكراكاتاو فى ١٨٨٣).

مصطلحات للمذاكرة

تدفق الحمم الخشنة	aa
صخر بركانى- آنديسايت	andesite
صخر بركانى- بازلت	basalt
كالديرا - منخفض فوهة بركان	caldera
مخروط بركانى منحدر	cinder cone
بركان مركب	composite volcano
التبلور	crystalization
الذوبان بخفض الضغط	decompression melting
جُدَّة قاطعة	dike
شق - كسر - شرخ	fissure
فوارة - نبع ماء حار	geyser
تدفق طينى	lahar
معدنى	mineral
زجاج بركانى داكن	obsidian
حمم حبلية ملساء	pahoehoe
حمم وسادية	pillow lava
ثوران عمودى	Plinian eruption
صخور بركانية جوفية	plutonic rock
ثقب	pore
زجاج بركانى خفاف	pumice

صخور فتاتية حرارية	pyroclastic
تدفق مقذوفات البراكين من الصخور الفتاتية	pyroclastic flow
صخر بركانى- ريولايت	rhyolite
صخر	rock
بركان درعى	shield volcano
جُدة	sill
ينبوع	spring
مخروط بركانى مركب	stratovolcano
لزوجة	viscosity
عنق البركان	volcanic neck
صخر البركان	volcanic rock

أسئلة للمراجعة

١ - ارسم مخططا واشرح عليه تسلسل الأحداث التى تؤدى إلى ثورة الفوارة. اذكر فى إجابتك تغيرات الضغط والحرارة.

٢ - ما هى التغيرات فى الحرارة والضغط والمحتوى من الماء التى تسبب إسالة الصخر الساخن؟

٣ - ما هى العناصر الشائعة التى تتحد لتكوِّن معظم الصخور النارية؟

٤ - ما هى المعادن التى تتحد لتكوِّن معظم الصخور النارية؟

٥ - قارن بين أوجه الخلاف بين صهارة البازلت وصهارة الريولايت فيما يتعلق بالآتى: النسبة المئوية لثانى أكسيد السيليكون ودرجة الحرارة واللزوجة وطريقة تسرب الغاز.

٦ - ما الذى يقرر ما إذا كان النشاط البركانى سيكون تدفقات حممية أو ثورة من الصخور الفتاتية الحرارية؟

٧ - ارسم قطاعا مقطعيا يوضح مخروطا بركانيا منحدرا ذا عنق بركانى وجُدات قاطعة.

٨ - ارسم قطاعا مقطعيا يوضح الفرق بين بركان درعى وبركان مركب.

٩ - ارسم قطاعا مقطعيا يوضح ثورة بلايني.

١٠- اشرح العناصر التى تحدد دليل قوة الانفجار البركانى.

١١- ارسم قطاعا مقطعيا واشرح انهيار أحد البراكين المحيطية مثل كراكاتاو. وما هو فى العادة أكثر فتكا بالبشر فى هذه العملية؟

أسئلة لمزيد من التأمل

١ - لماذا يُقْبِل الناس على العودة إلى البراكين مثل فيزوف ويشيدون المدن الجديدة عليها؟

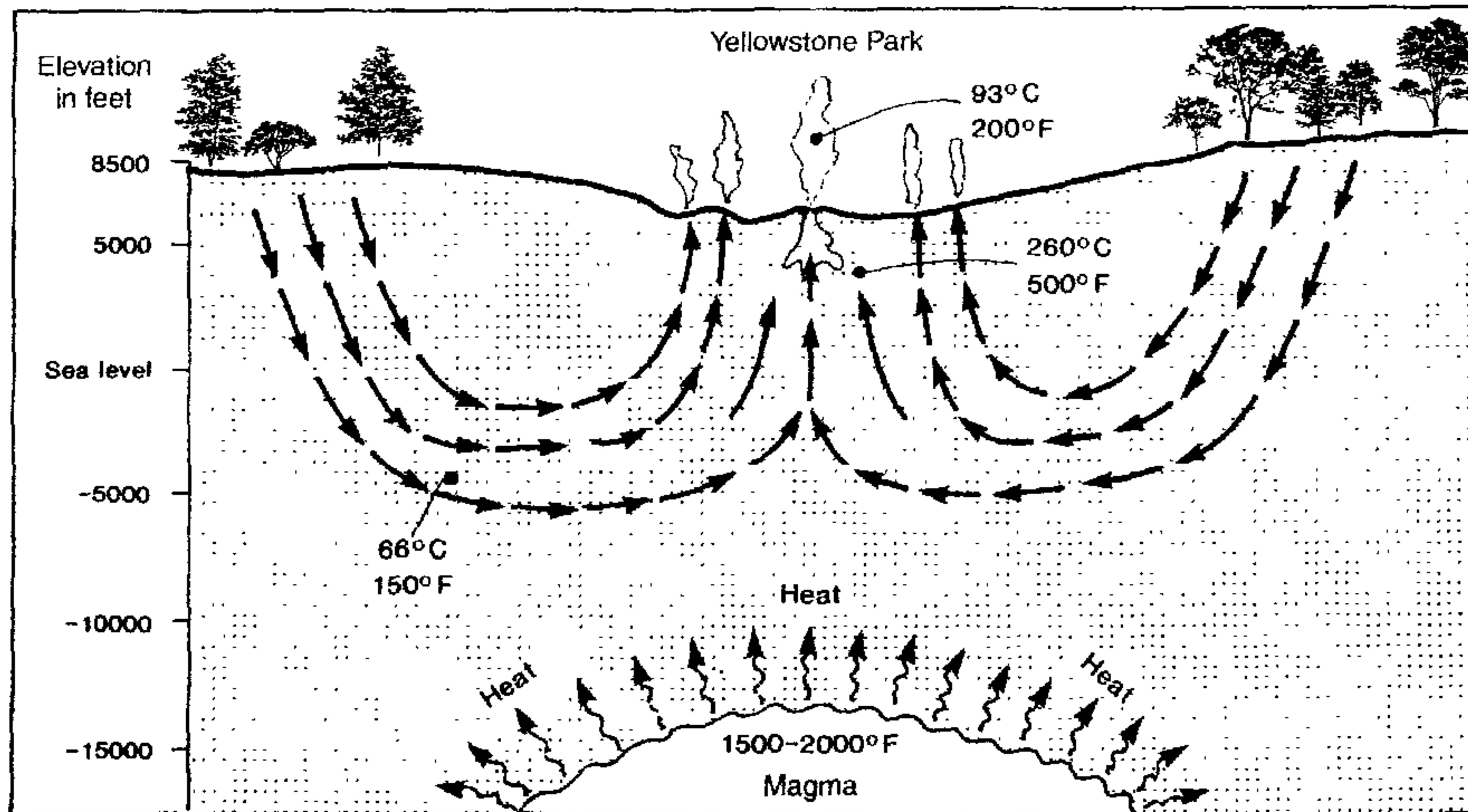
٢ - اذكر قائمة بالمظاهر الإيجابية للبراكين وظاهرتها الطبيعية.

٣ - كيف تتمكن من وقاية نفسك من التدفقات الصخرية الفتاتية الحرارية؟ ومن التدفقات الطينية؟

أشكال الفصل السادس



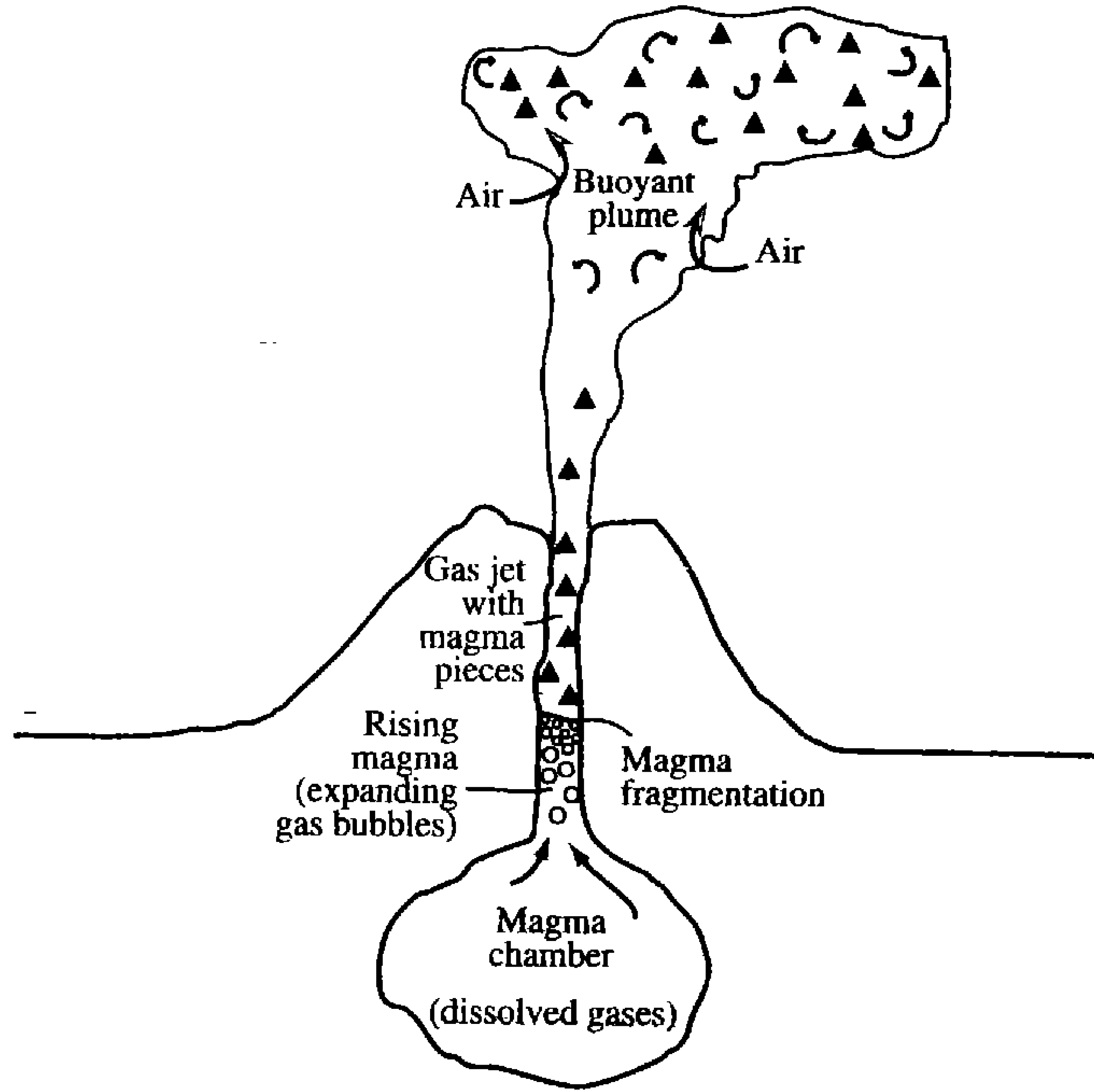
الشكل (٦-١) ثورة انفجارية لفوارة زلزالية فى منتزه ييللوستون فى يومينج.



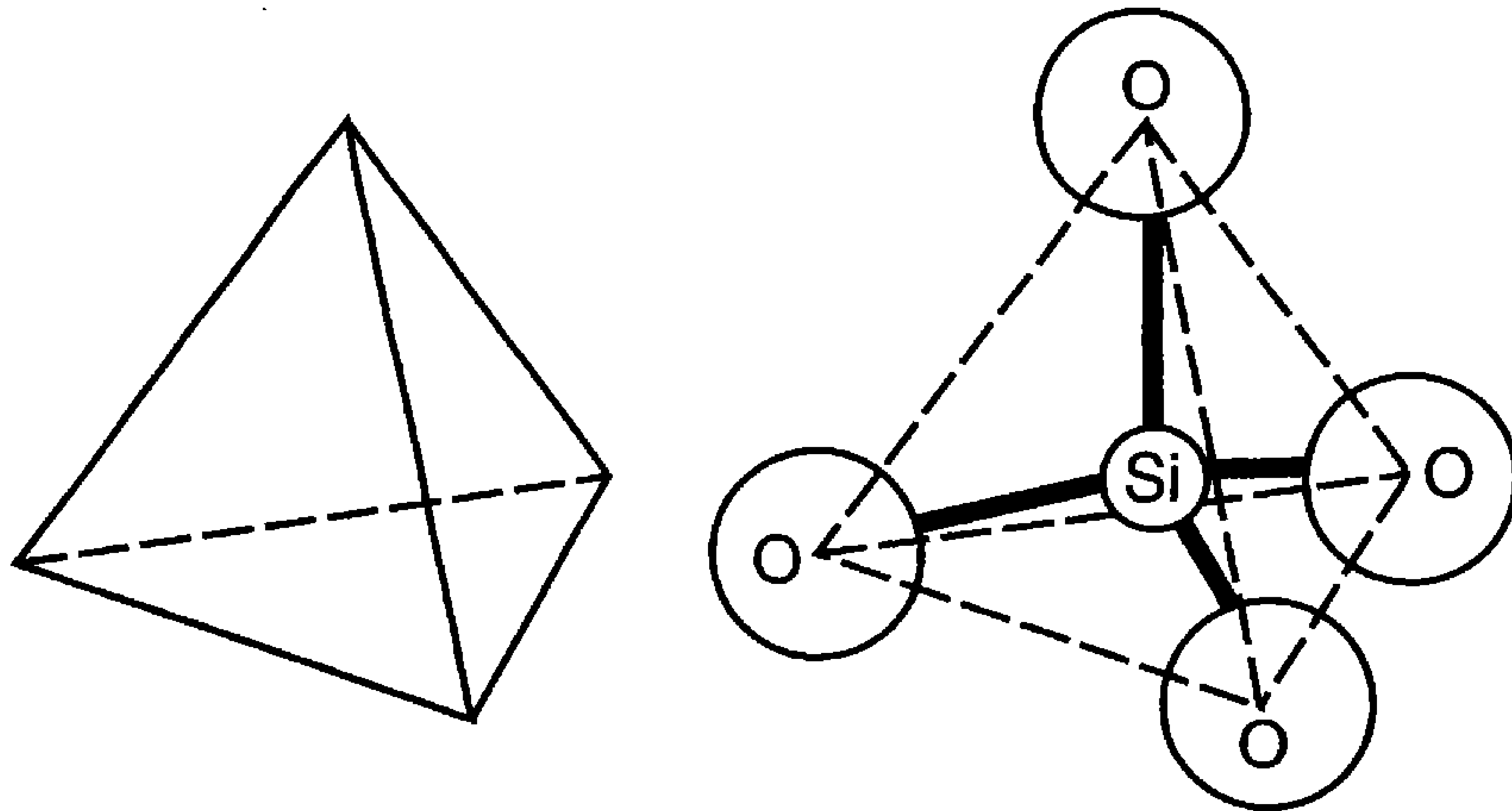
الشكل (٦-٢) الماء السطحى تسحبه الجاذبية إلى باطن الأرض، فيتدفق خلال الثقوب التى فى الصخور ثم ترتفع حرارته إلى درجة فائقة، وفى عملية معقدة لتقليل الضغط يثور على السطح على شكل فوارة.



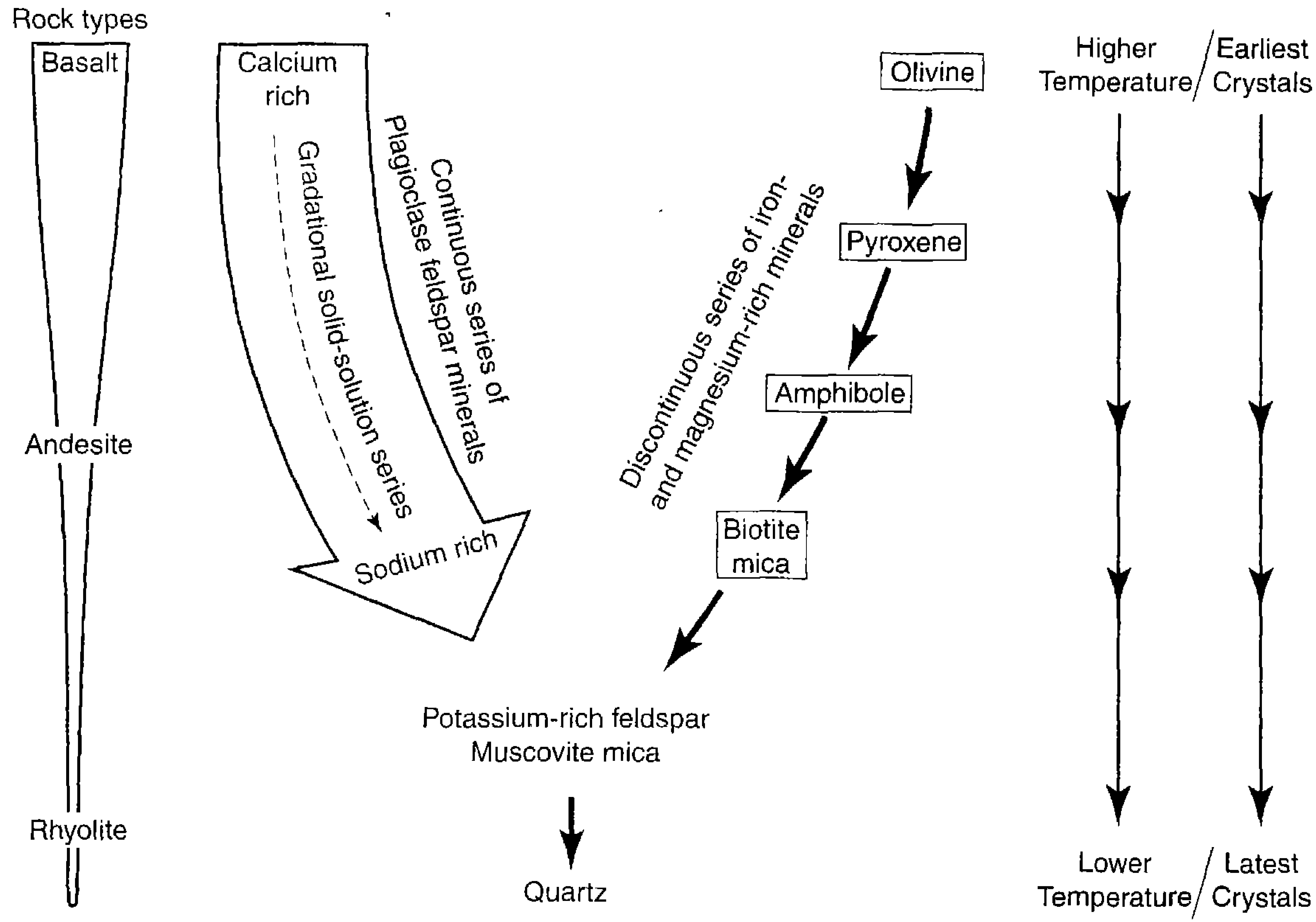
الشكل (٦-٣) رماد يتصاعد من بركان تلال سوفريير في مونتسيرات فى عام ١٩٩٧. وقد تحولت كل المنازل والزراعات الظاهرة هنا إلي رماد بعد عدة أسابيع.



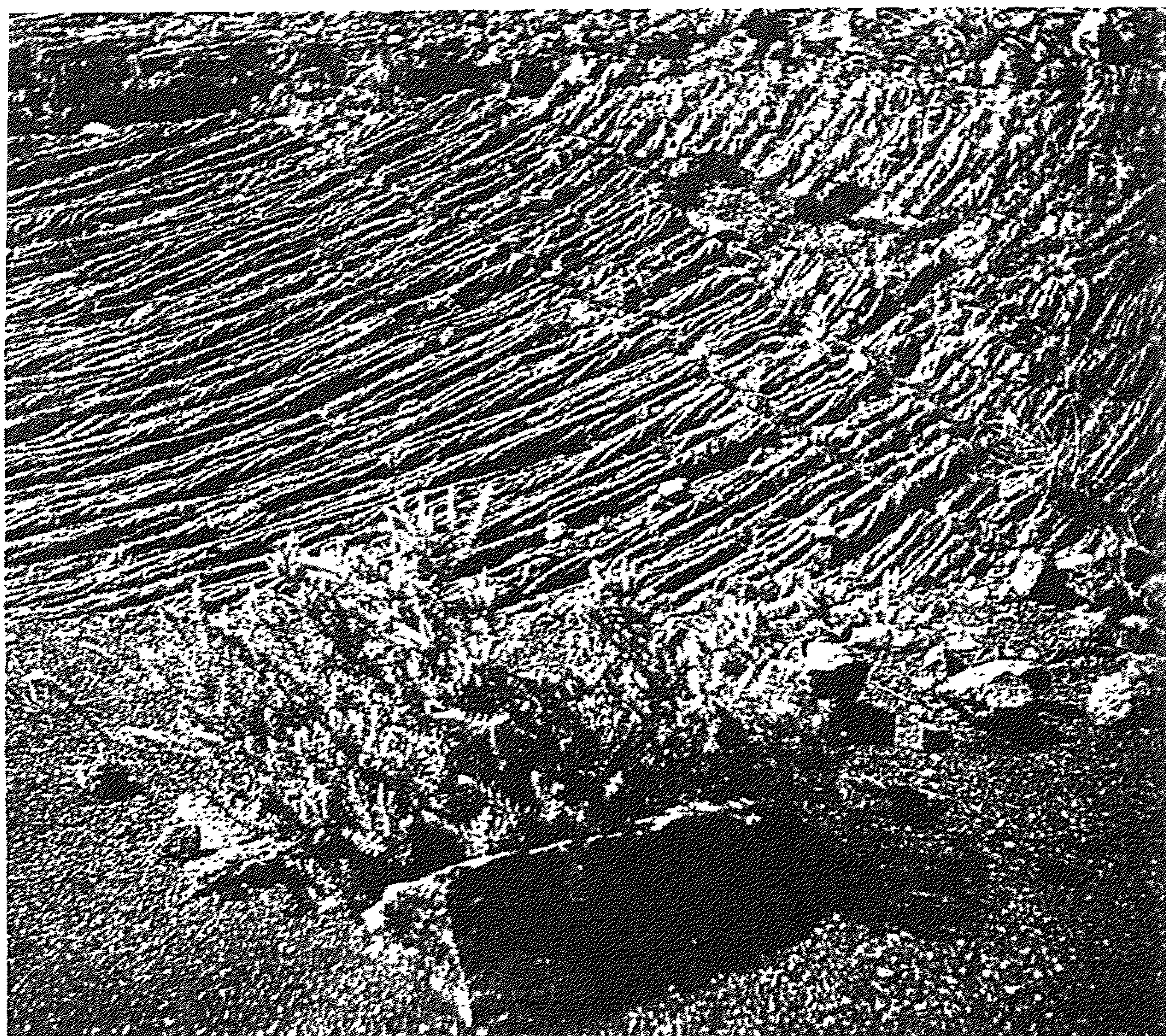
الشكل (٦-٤) عندما ترتفع الصهارة إلى مستويات الضغط المنخفض يتسرب الغاز من المحاليل على شكل فقاقيع تكتسح الصهارة وتصنع نافورة غازية تؤدى إلى ظهور ريشة (سحابة) طافية.



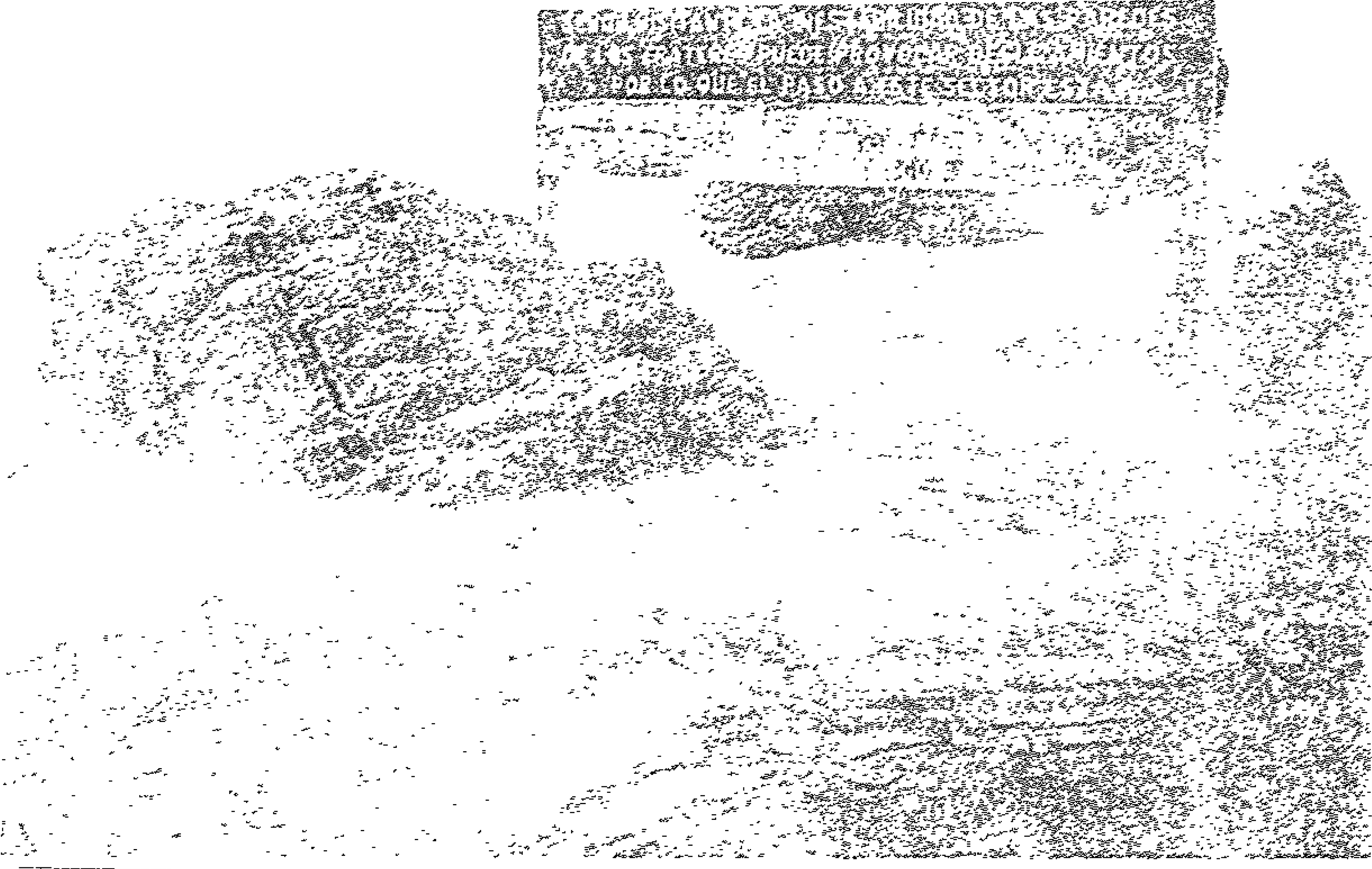
الشكل (٦-٥) ذرة السيليكون ذات الشحنة الموجبة +٤ وقد اتحدت مع أربع ذرات من الأكسيجين كل منها ذات شحنة سلبية - ٢.



الشكل (٦-٦) نظام تبلور المعادن من الصهارة التي تبرد.



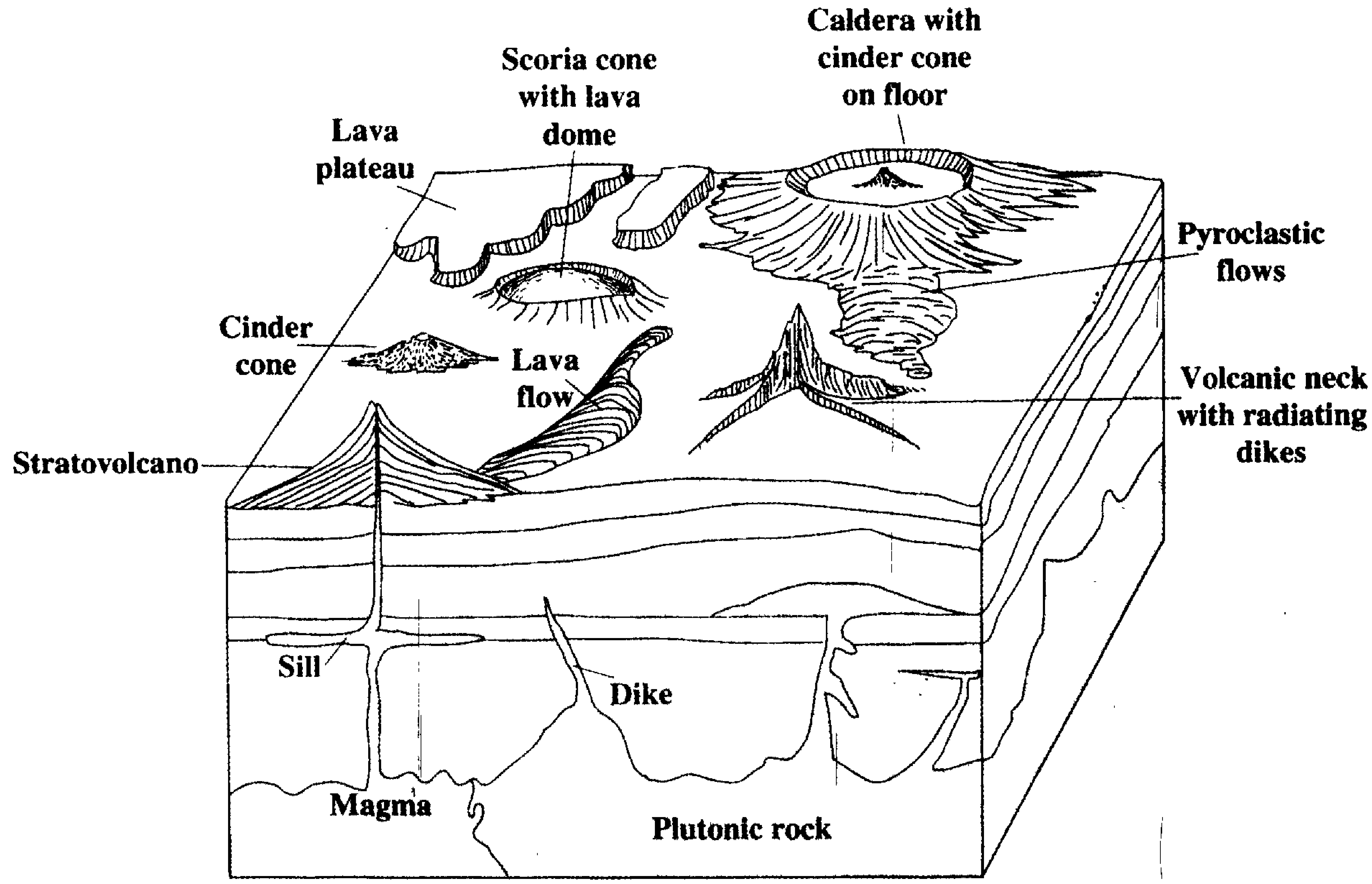
الشكل (٦-٧) مقياس مصغر لحمم حبلية ملساء بالقرب من هاليمومو فى هاواى.



الشكل (٦-٨) كتل كبيرة من الصهارة بردت وهى محمولة فى الهواء وسقطت على شكل قنبلة بركانية فى بركان إيرازو فى كوستاريكا.



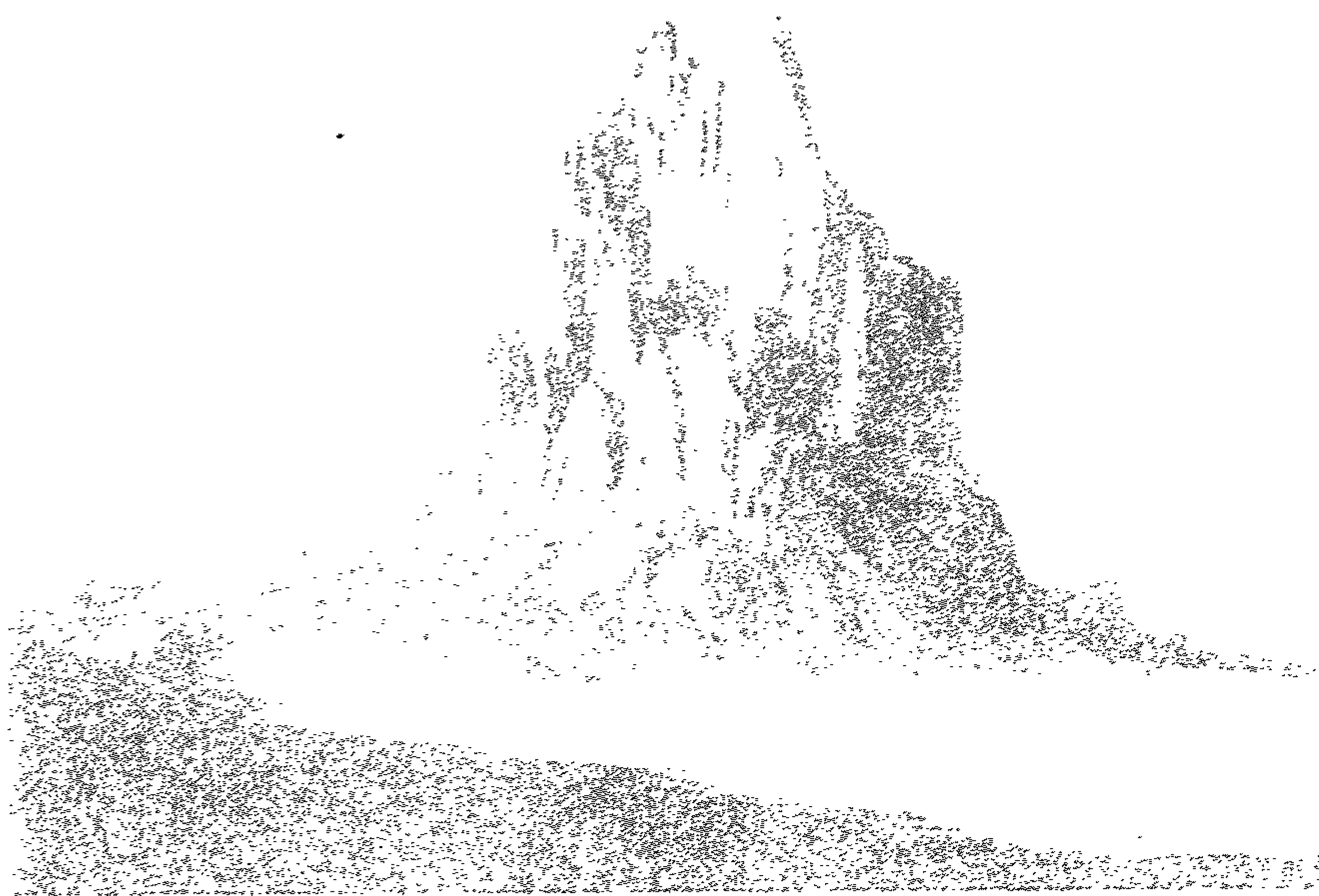
الشكل (٦-٩) الرماد البركانى يغطى منزلا بالقرب من جبل بيناتيوبو فى الفيلبين فى يونيو ١٩٩١.



الشكل (٦-١٠) مجسم تخطيطي مكعب يوضح تضاريس بركانية متنوعة.



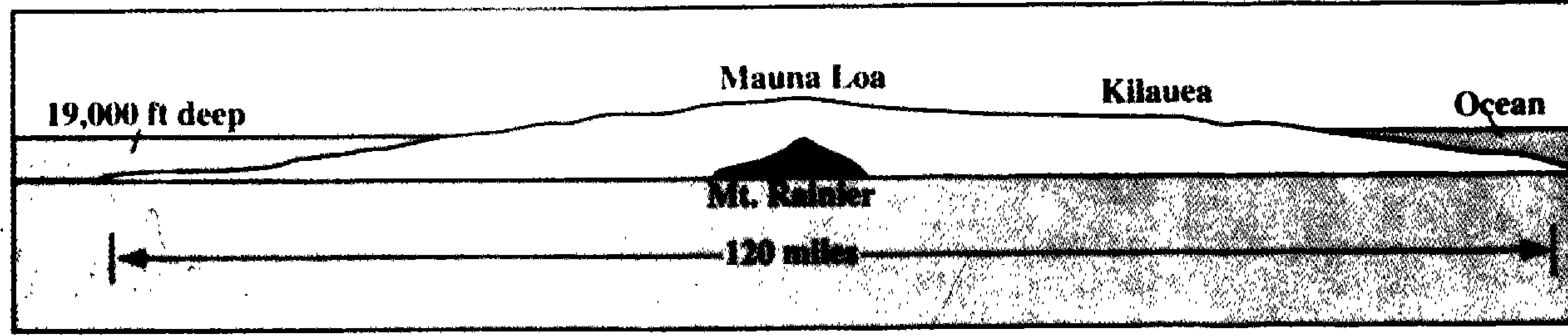
الشكل (٦-١١) بركان باريكيوتين يثور فى عام ١٩٤٣. وهذا المخروط من الرماد البركانى البالغ من الارتفاع ٤٠٠ متر (١٣٠٠ قدم) يقع فى ولاية ميتشوكان فى المكسيك.



الشكل (٦-١٢) صخرة شيب: عنق لبركان فى شمال غربى نيومكسيكو. وهى عبارة عن صخر شديد المقاومة تكوَّن من صهارة بردت داخل قناة التوصيل المركزية لأحد البراكين الخامدة الآن.



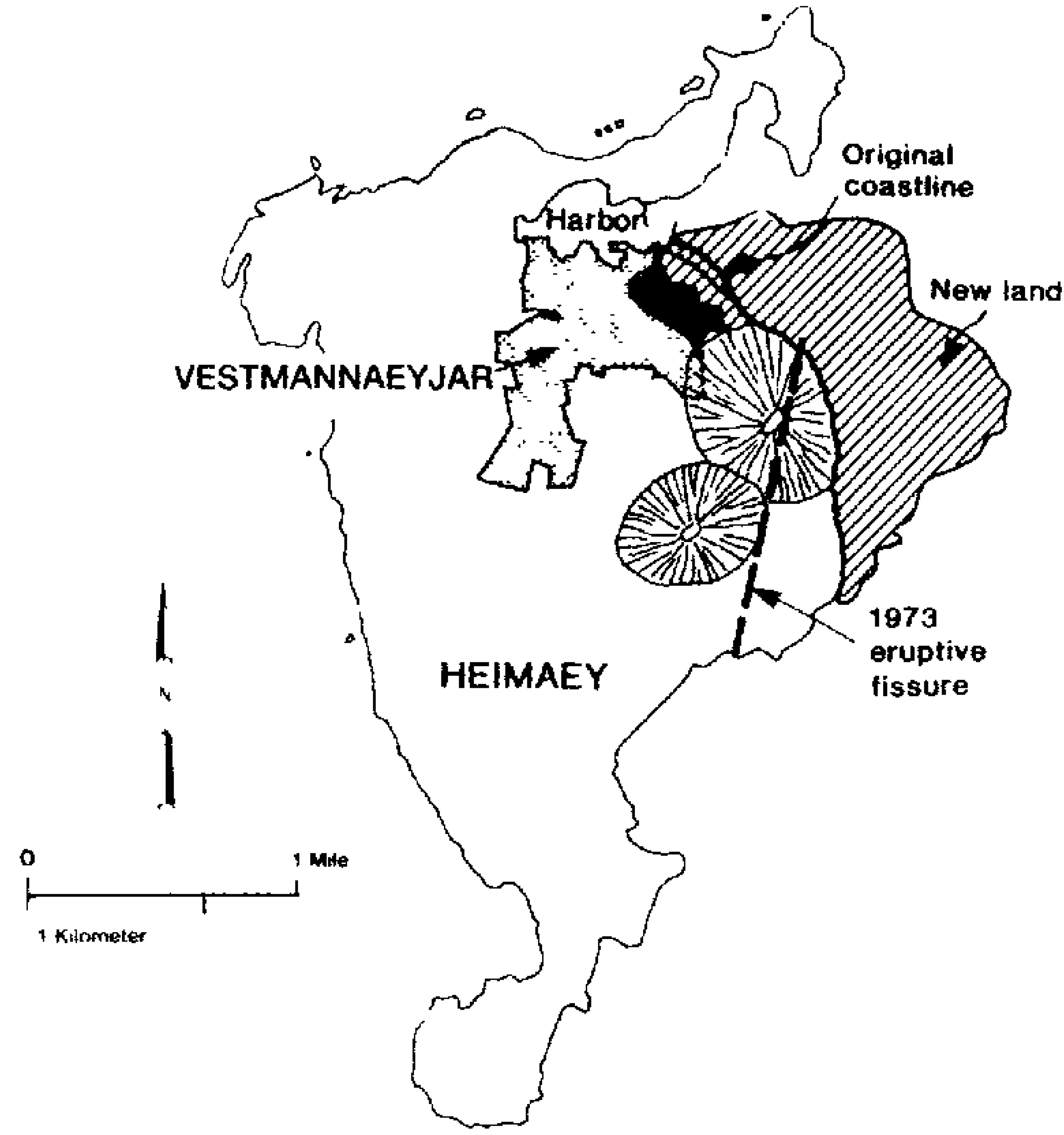
الشكل (٦-١٣) بركان شيشالدين وهو بركان متطابق متناسق يرتفع ٢٨٥٧ مترا (٩٣٧٢ قدما) فوق سطح البحر فى جزر آليوشيا فى آلاسكا.



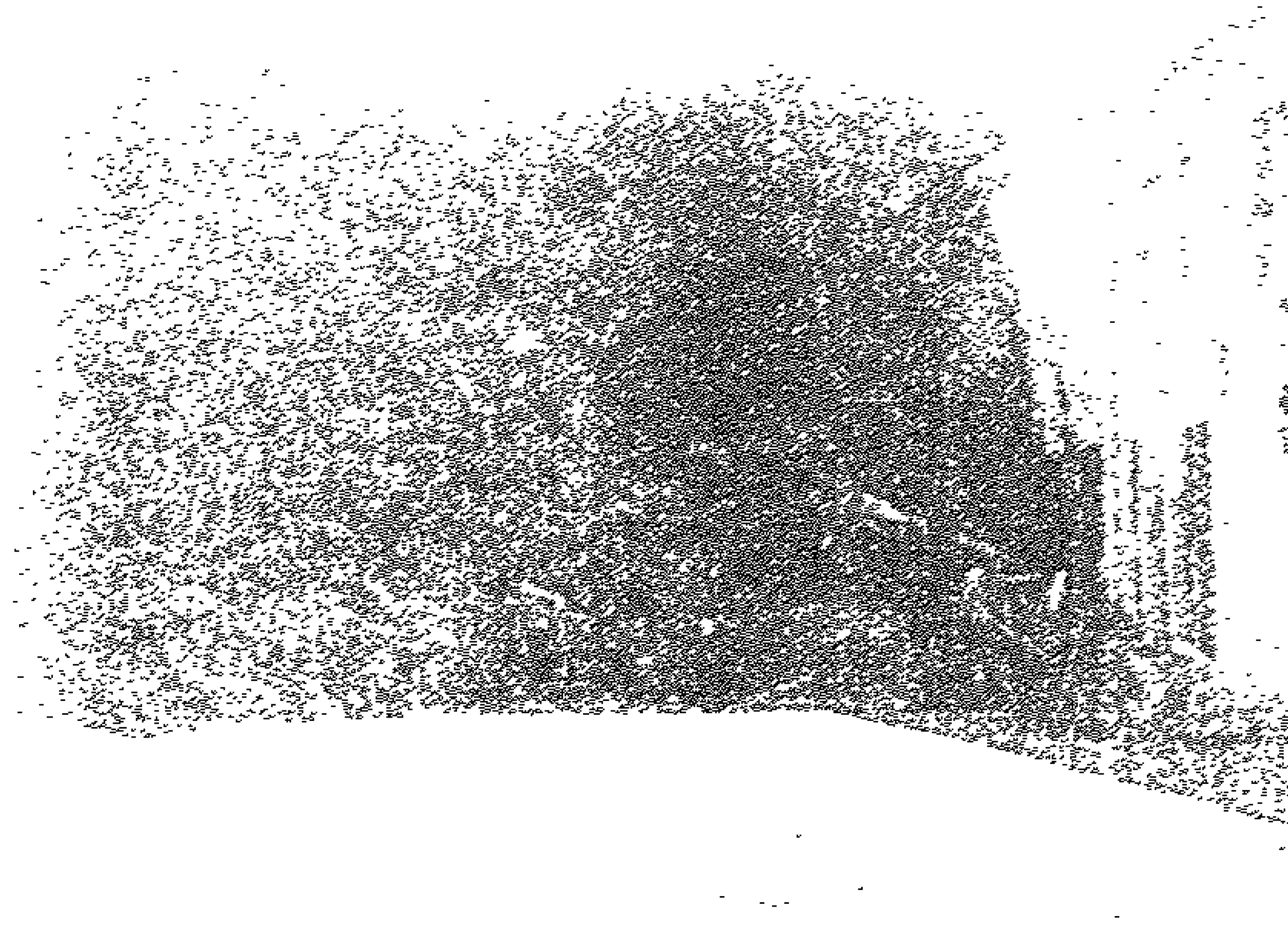
الشكل (٦-١٤) بركان درعي مثل مونا لوا في هاواي، ذو اتساع كبير مقارنا بارتفاعه. وبركان مركب مثل مونت رينيير في واشنطون ذو ارتفاع كبير مقارنا باتساعه.

Eruption Type	Explosivity	Composition	Volcanic Landform
ICELANDIC TYPE	Nonexplosive (VEI = 0–1)	Basalt (low viscosity)	Volcanic plateau and small shield volcanoes
HAWAIIAN TYPE	Nonexplosive (VEI = 0.1)	Basalt (low viscosity)	Large shield volcanoes
STROMBOLIAN TYPE	Low (VEI = 1–3)	Basalt to Andesite (low-to-moderate viscosity)	Scoria cones
VULCANIAN TYPE	Moderate (VEI = 2–5)	Basalt to Rhyolite (moderate-to-high viscosity)	Scoria cones and Stratovolcanoes
VESUVIAN TYPE	↑	↑	↑
PLINIAN TYPE	High (VEI = 3–8)	Andesite to Rhyolite (high viscosity)	Stratovolcanoes
PELEAN TYPE	↓	↓	↓

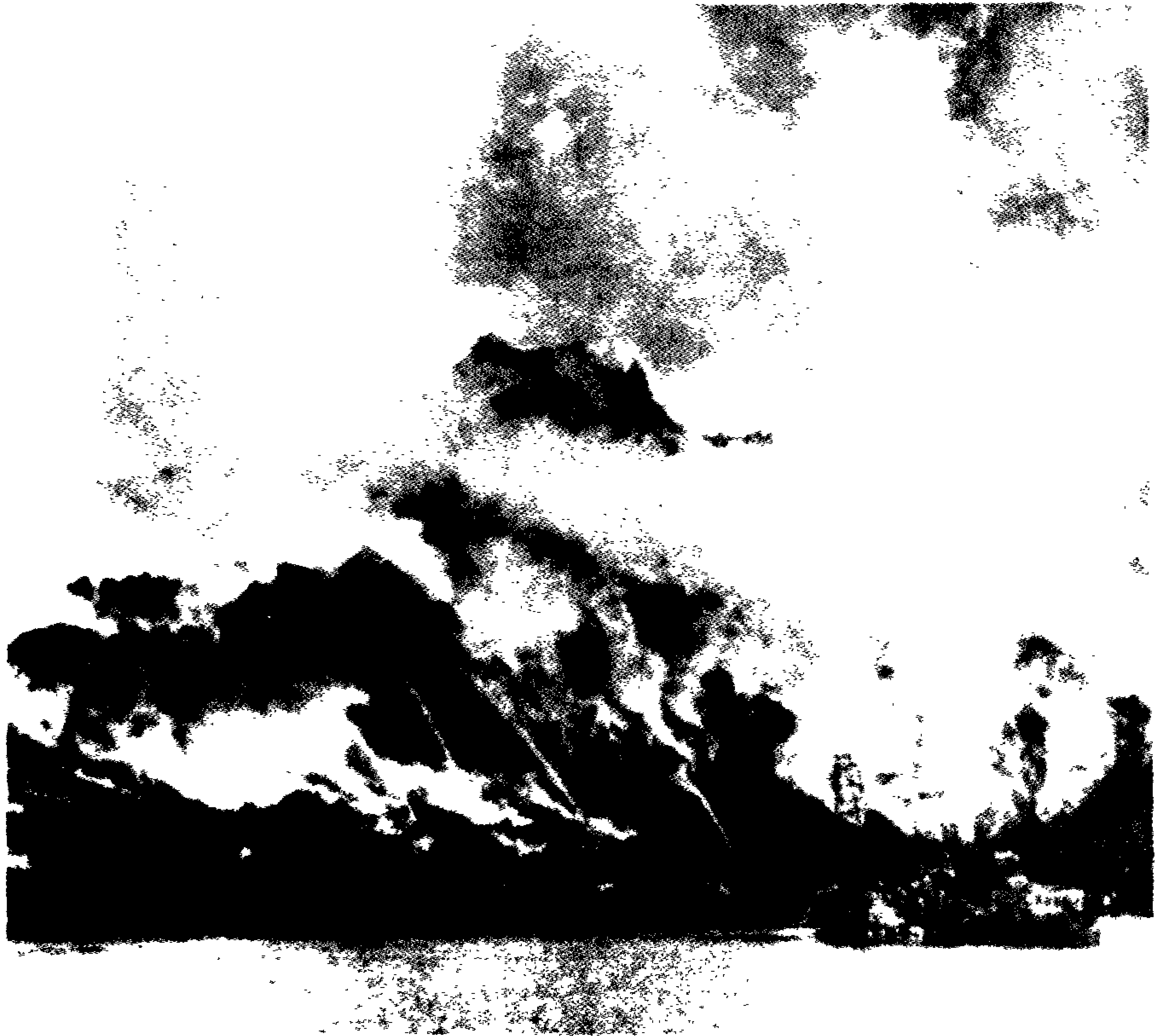
الشكل (٦–١٥) نماذج من ثورات البراكين.



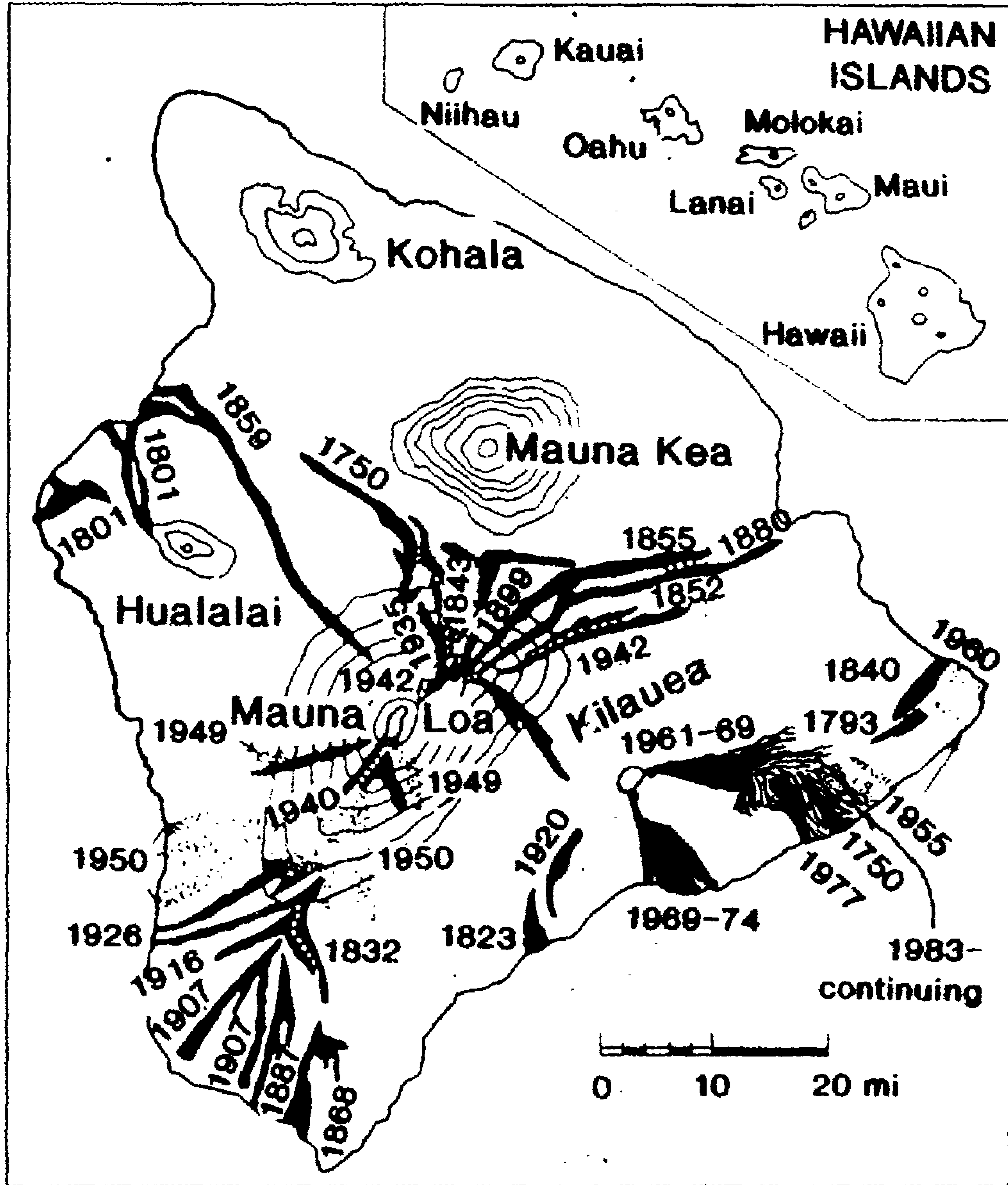
الشكل (٦-١٦) جزيرة هايمى بساحلها القديم الموضح بالخط الثقيل. والمنطقة المظللة أرض جديدة تكونت من تدفقات الحمم في عام ١٩٧٣. لاحظ أن الميناء الجديد يتميز بالكبر والوقاية بشكل أفضل.



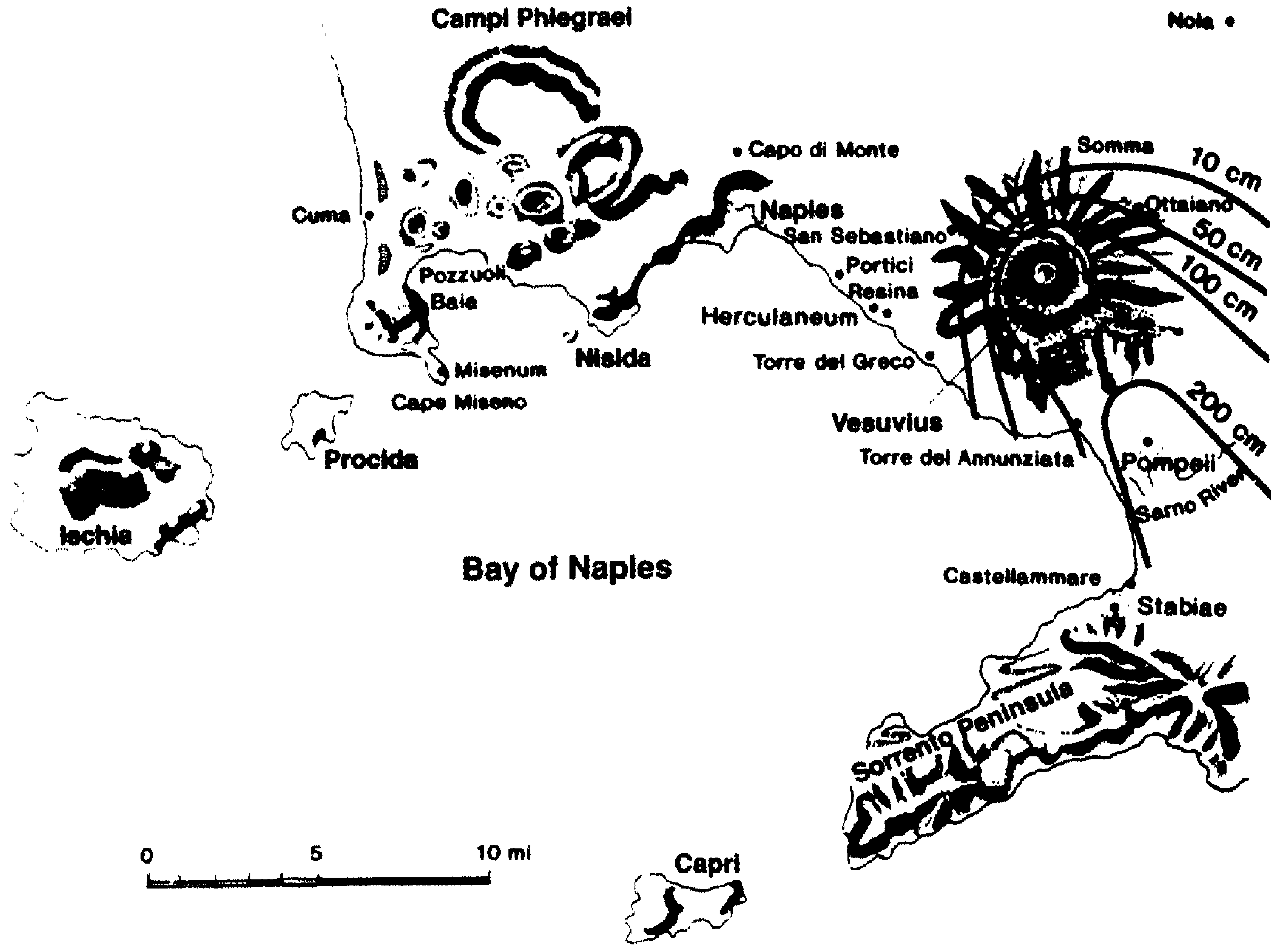
الشكل (٦-١٧) تدفقات من الحمم الخشنة توقفت بين مبنيين لصانع الأسماك فى فيستمانييار فى ٢٣ يوليو ١٩٧٣.



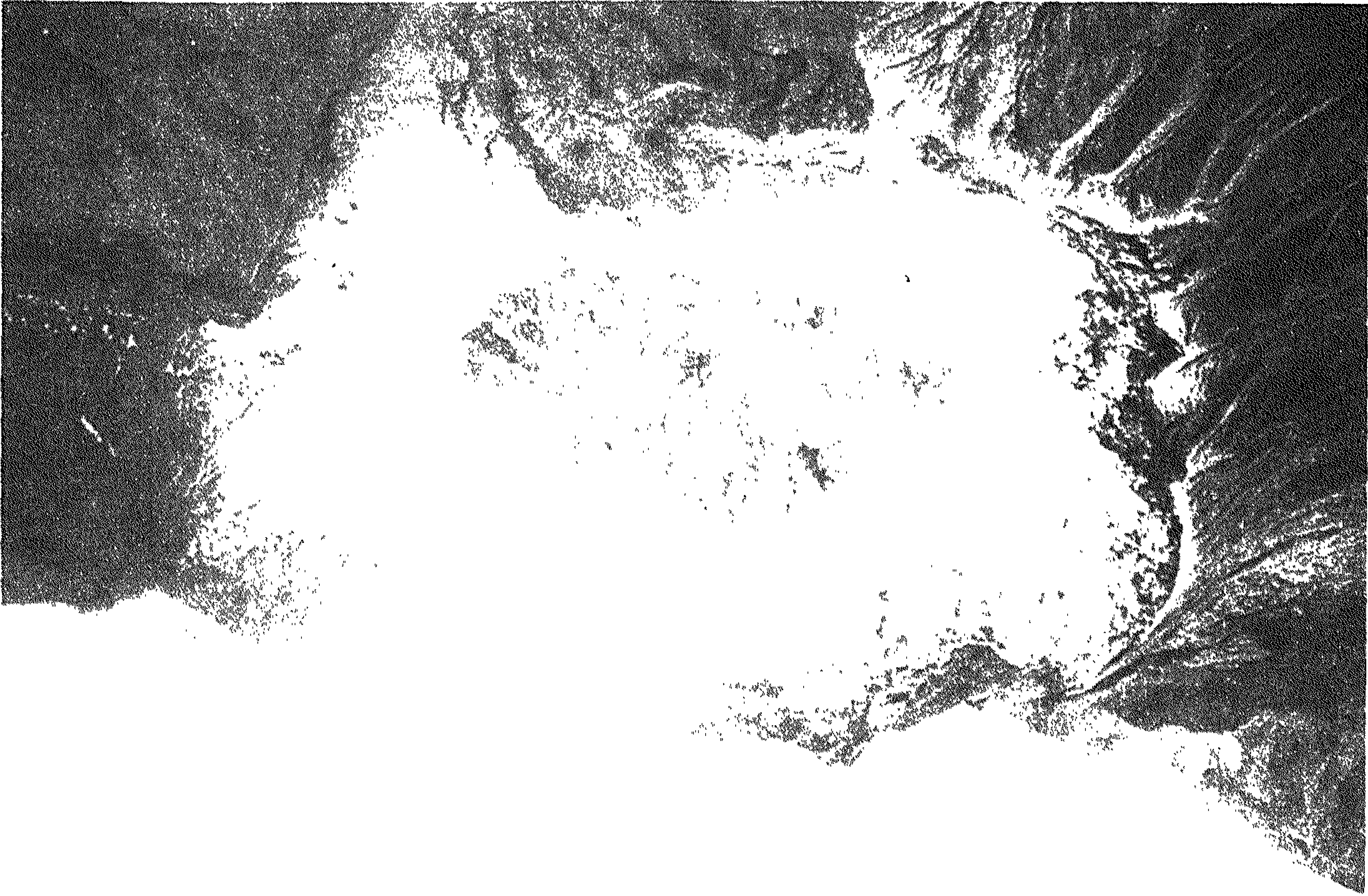
الشكل (٦-١٨) ماء البحر يرش على جبهة من الحمم لتبريدها حتى تتصلب لمنعها من قفل ميناء ڤيستمانيار فى ٤ مايو ١٩٧٣ .



الشكل (٦-١٩) خريطة هاواى توضح بعض تدفقات الحمم التاريخية.



الشكل (٦–٢٠) خريطة منطقة خليج نابولى توضح موقع جبل فيزوف. وسقوط الزجاج البركانى الخفاف من ثورة عام ٧٩ ميلادية موضح بكنتور يقدر بالسنتيمترات. ودفنت مدينتا بومبيى وستابياى تحت الزجاج البركانى الخفاف، بينما دفنت هيركيولينيوم تحت الحمم الطينية.



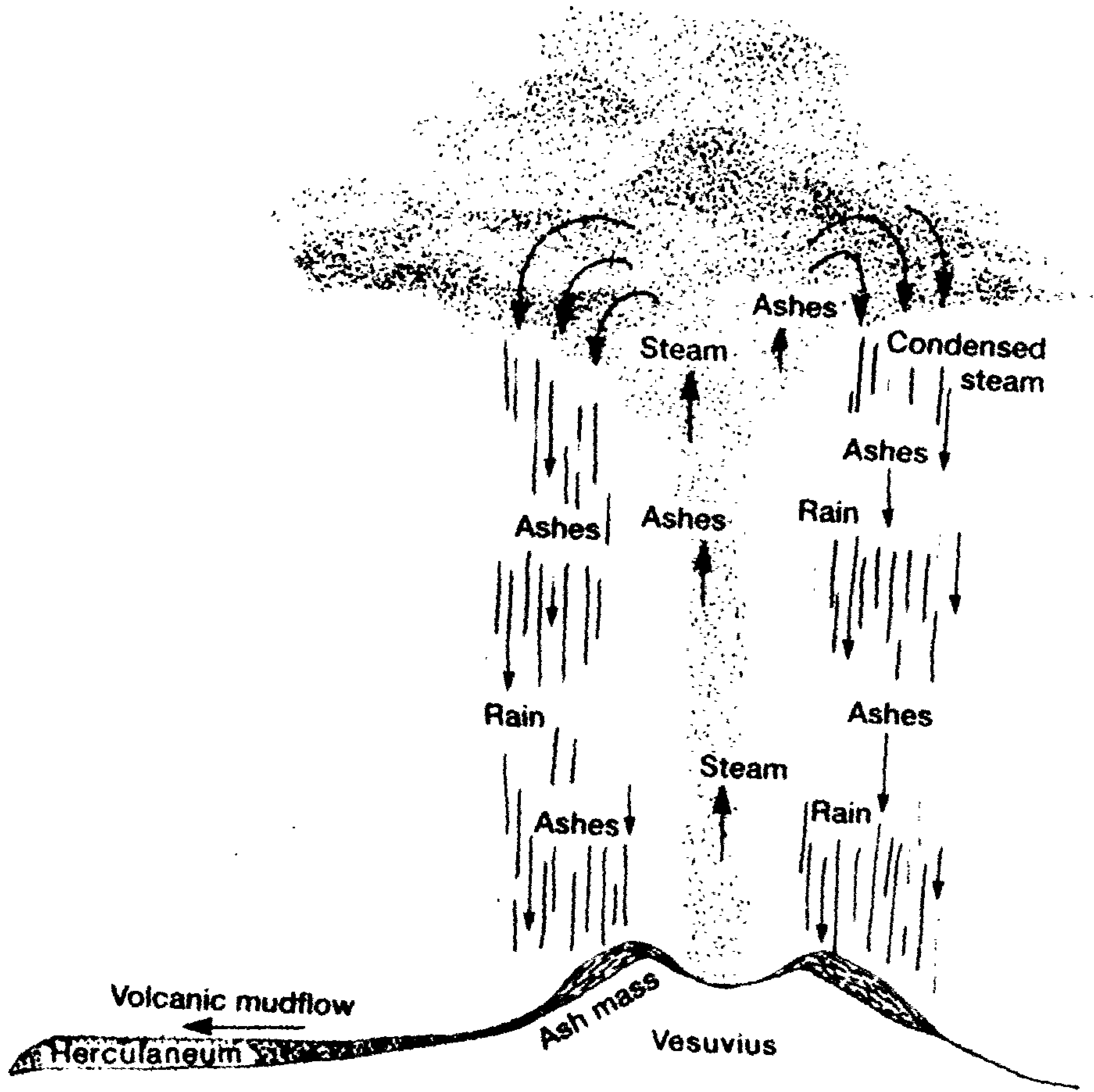
الشكل (٦-٢١) منظر في فوهة بركان مونت بيناتيوبو كمثال لنموذج ثورة فيزوف بعد أن هدأت في يوم ١ أغسطس ١٩٩١.



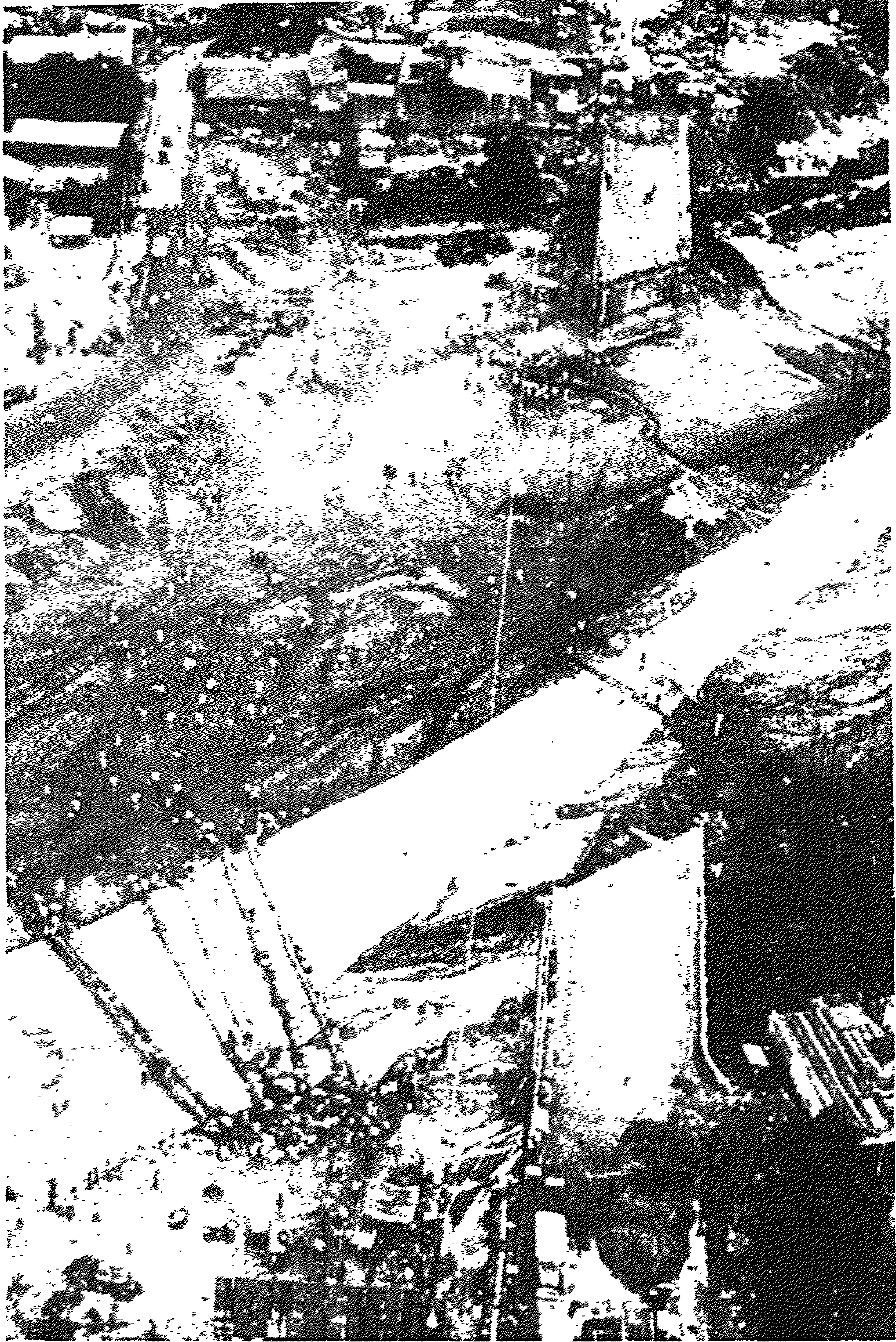
الشكل (٦-٢٢) جثمان لرجل قتله تدفق الصخور الفتاتية الحرارية من فيزوف فى أواخر أغسطس عام ٧٩ ميلادية.



الشكل (٦-٢٣) أول انفجار متوهج كبير من مونت بيناتيوبو فى يوم ١٥ يونيو ١٩٩١. لاحظ أن تدفق الصخور الفتاتية الحرارية هابطة على التل إلى اليسار.



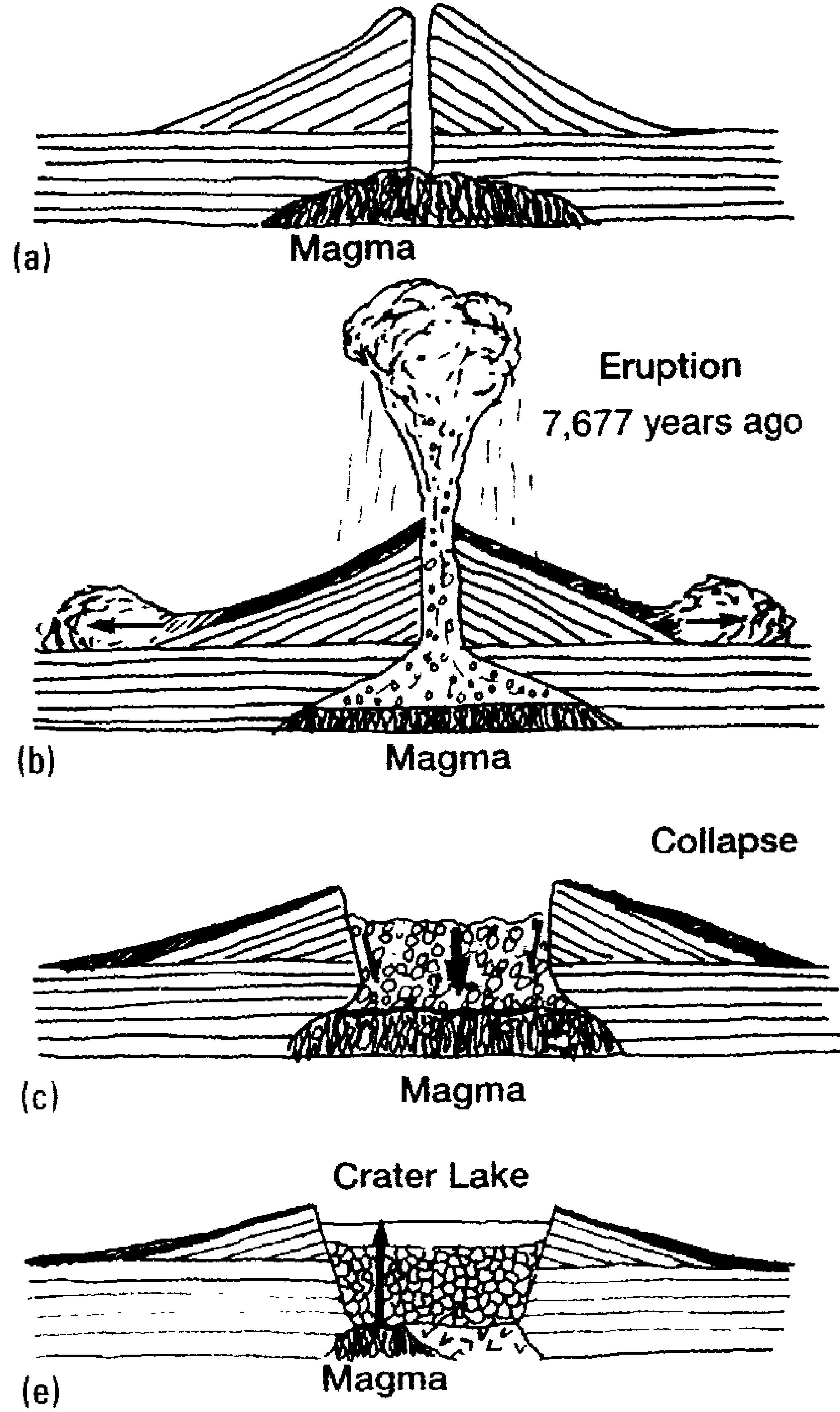
الشكل (٦-٢٤) طقسٌ بركانيٌّ وتكوُّنٌ للحمم الطينية. وتؤدى الثورة العمودية العالية إلى تراكم الحطام على المنحدرات الحادة للبركان. ويتكثف البخار المندفع إلى أعلى فى الارتفاعات العالية الباردة حيث يسقط على شكل أمطار. والمنطقة جاهزة: منحدرات حادة + حطام بركانى حر+ أمطار غزيرة = حمم طينية.



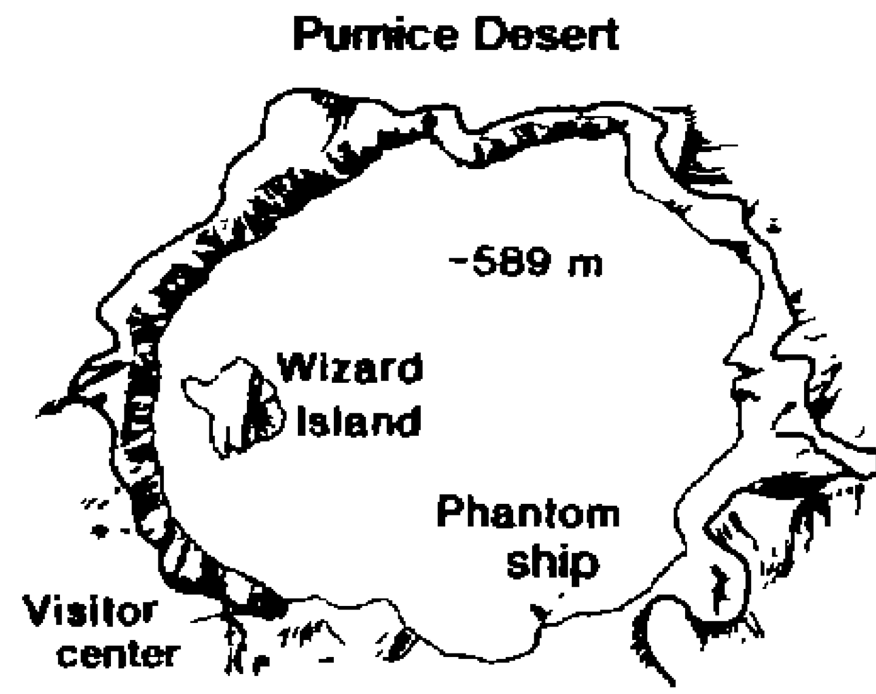
الشكل (٦-٢٥) دمرت الحمم الطينية المتدفقة من ثورة من نموذج فيزوف فى مونت بيناتيوبو الكبارى الموصلة إلى مدينة إينجليز، فى الفيلبين فى يوم ١٢ أغسطس ١٩٩١.



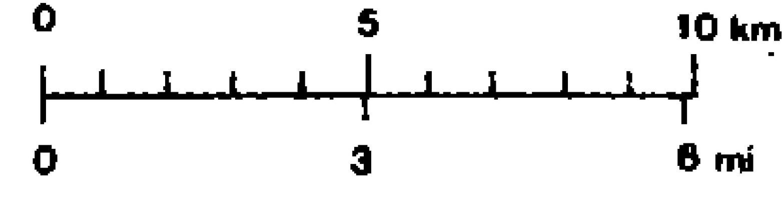
الشكل (٦-٢٦) بحيرة كريتر فى أوريجون تملأ كالديرار جبل مازاما الذى انهار فى عام ٥٦٧٧ ق.م.

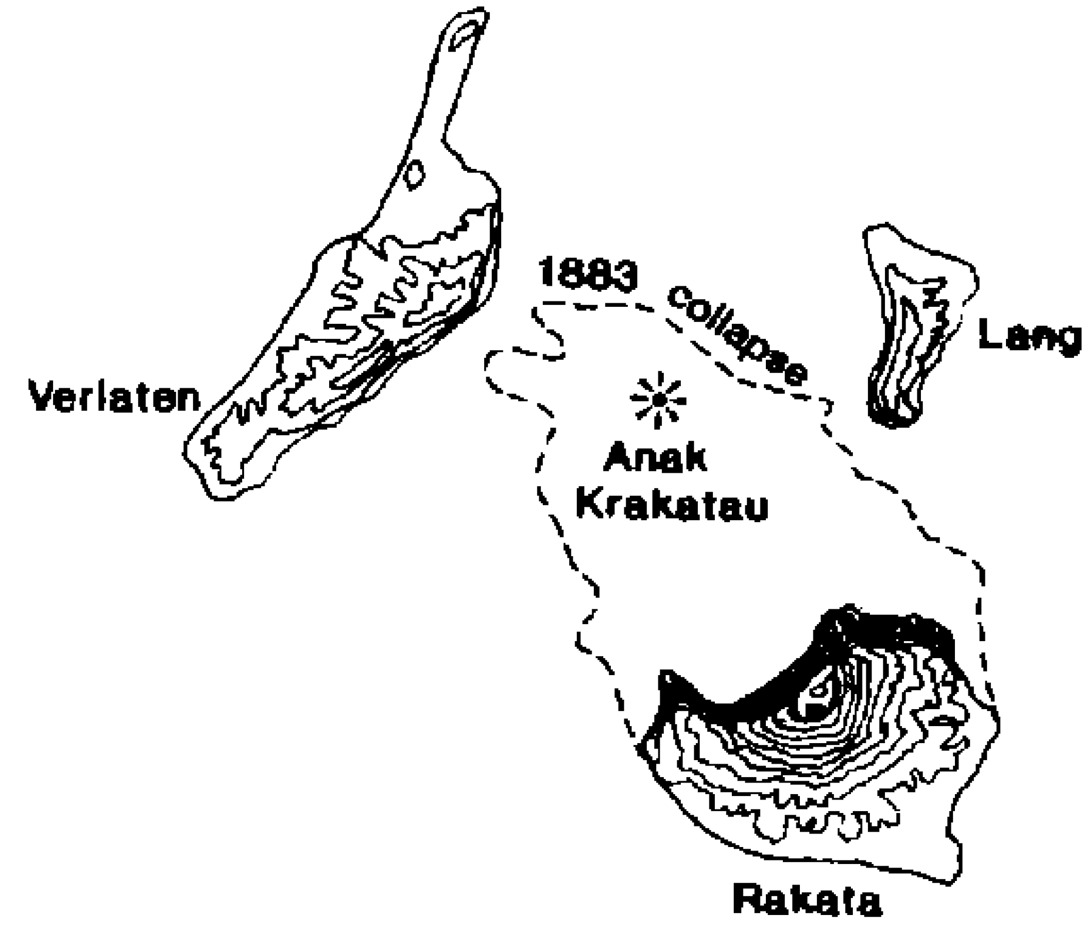


الشكل (٦-٢٧) كيف تكونت بحيرة كريتر. (أ) وقف بركان جبل مازاما عاليا. (ب) أفرغت الثورة الغازية في عام ٥٦٧٧ ق.م. كميات هائلة من الصهارة اللزجة. (جـ) تركت الثورة الهائلة فجوة داخل الجبل الذى ضعف وسقطت قمته غير المدعومة فى غرفة الصهارة المفرغة. (د) ملأت مياه بحيرة كريتر الآن كالديرا، وتكون الآن مخروط بركانى صغير (جزيرة ويزارد) فوق منسوب سطح البحيرة.

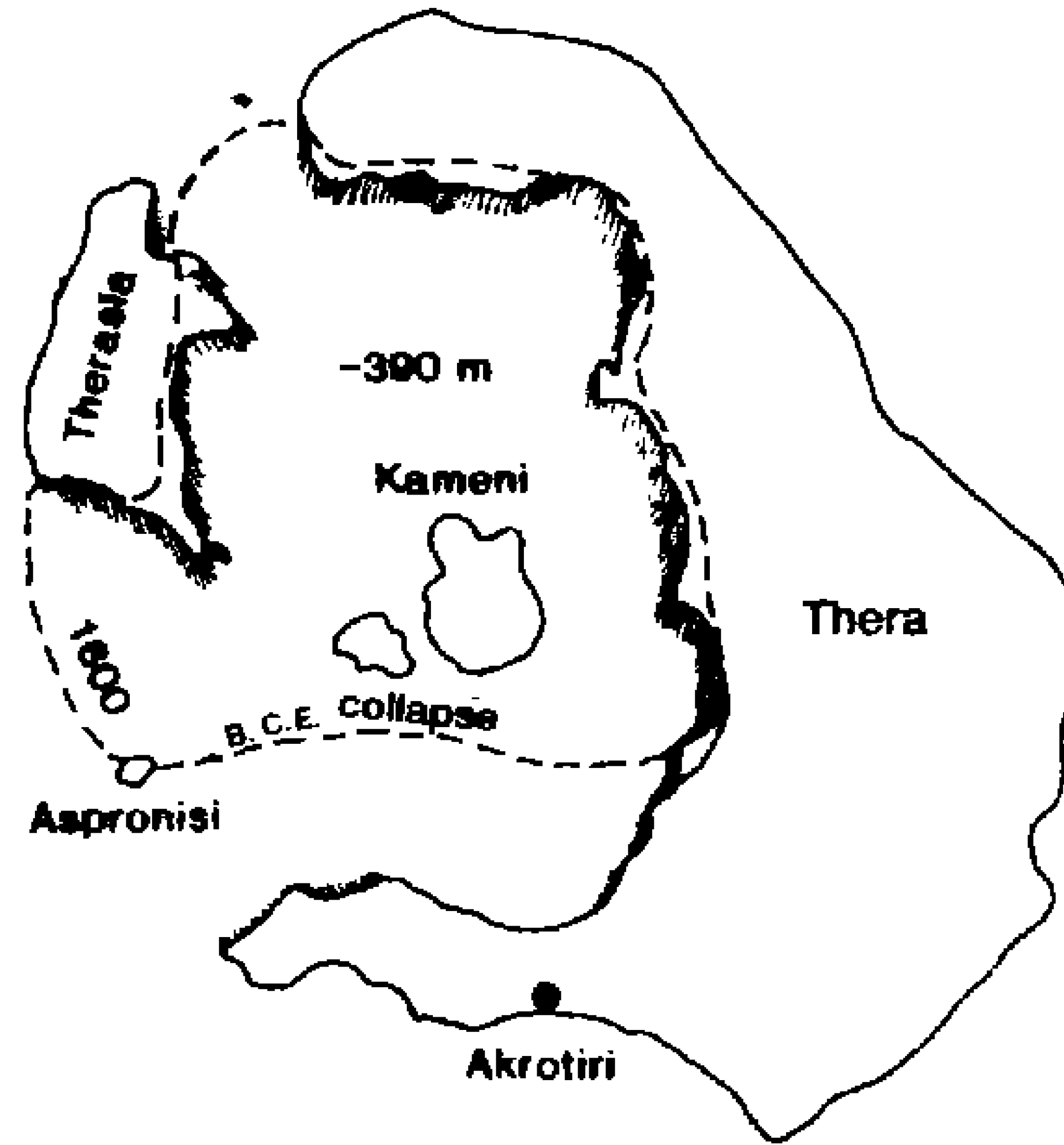


(a) Crater Lake, Oregon





(b) Krakatau, west of Java

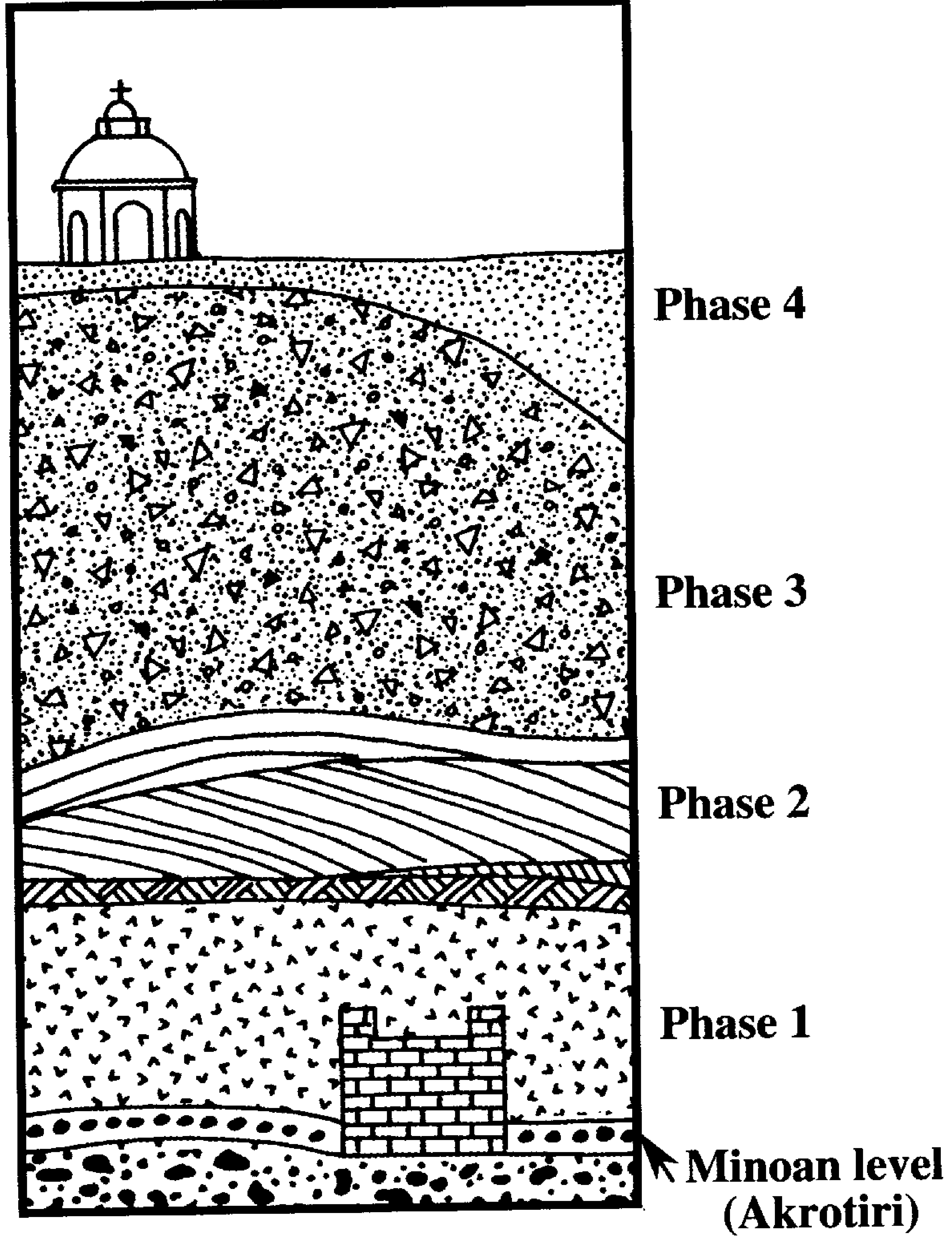


(c) Santorini, Aegean Sea

الشكل (٦-٢٨) خريطة لبعض الكالديرات المنهارة. (أ) تكونت الكالديرا شبه المستديرة لبحيرة كريتر في أوريجون منذ حوالى ٧,٦٧٩ سنة. (ب) مخطط دائرى تقريبا لبركان كراكاتاو القديم؛ ذى الشكل الشبه بيضوى فى انهيار ١٨٨٣؛ والبركان الجديد المتنامى فى آناك كراكاتاو. (جـ) كالديرا فى بركان سانتورينى انهارت فى بحر إيجه فى حوالى عام ١٦٢٨ ق.م.



الشكل (٦-٢٩) لقطة جمالية داخل فوهة سانتوريني بمنازلها المطلية البيضاء على حافة الجرف.



الشكل (٦-٣٠) مدينة أقريطيس (كريت) المينوية عند بركان سانتوريني؛ وقد دفنت على عمق ٧٠ مترا بثورة بركانية على أربعة مراحل فى حوالى عام ١٦٢٨ ق.م.

جداول الفصل السادس

الجدول (٦-١) قائمة بعلماء البراكين الذين قتلتهم الثورات البركانية

Year	Volcano	Total Deaths	Dead Volcanologists
1951	Kelut, Indonesia	7	3
1952	Myojin-sho, Japan	31	9
1979	Karkar, New Guinea	2	2
1980	St. Helens, United States	62	2
1991	Unzen, Japan	43	3
1991	Lokon-Umpong, Indonesia	1	1
1993	Galeras, Colombia	9	6
1993	Guagua Pichincha, Ecuador	2	2
2000	Semeru, Indonesia	2	2

الجدول (٦-٢) العناصر السائدة فى القشرة الأرضية (النسبة المئوية للوزن)

Oxygen (O^{-2})	45.20%			
Silicon (Si^{+4})	27.20			
Alumin. n (Al^{+3})	8.00			
Iron ($Fe^{+2,+3}$)	5.80	plus	Titanium ($Ti^{+3,+4}$)	0.86%
Calcium (Ca^{+2})	5.06		Hydrogen (H^{+1})	0.14
Magnesium (Mg^{+2})	2.77		Phosphorus (P^{+5})	0.10
Sodium (Na^{+1})	2.32		Manganese ($Mn^{+2,+3,+4}$)	0.10
Potassium (K^{+1})	1.68		Total	99.23%
Total	98.03%			

الجدول (٦-٣) عناصر القشرة الأرضية متعددة بالنسب المئوية لأوزان الأكاسيد

Continental Crust		Oceanic Crust	
SiO_2	60.2%	SiO_2	48.7%
Al_2O_3	15.2	Al_2O_3	16.5
Fe_2O_3	2.5	Fe_2O_3	2.3
FeO	3.8	FeO	6.2
CaO	5.5	CaO	12.3
MgO	3.1	MgO	6.8
Na_2O	3.0	Na_2O	2.6
K_2O	2.9	K_2O	0.4

الجدول (٦-٤) نماذج الصخور النارية

Magma Type	Plutonic Rock	Volcanic Rock
$SiO_2 < 55\%$	Gabbro	Basalt
$SiO_2 = 55–65\%$	Diorite	Andesite
$SiO_2 > 65\%$	Granite	Rhyolite

الجدول (٦-٥) المواد البركانية

Lava	Aa	Rough, blocky surface
	Pahoehoe	Smooth, ropy surface
	Pillow	Ellipsoidal masses formed in water
Pyroclastic	Air-fall fragments	
	Fine ash (dust)	Flour-size material
	Coarse ash	Sand size
	Cinders	Marble- to golf-ball size
	Blocks	Big fragments, solid while airborne
	Bombs	Big fragments, liquid while airborne
	Volcanic tuff	Rock made of smaller fragments, e.g., deposit of a hot, gas-charged flow
	Volcanic breccia	Rock made of coarse, angular fragments, e.g., deposit of a water-charged debris flow
Glass	Obsidian	Nonporous glass
	Pumice	Porous froth

الجدول (٦-٦) مقارنة بين ثلاثة نماذج من الصهارة

Volcanic Rock Types	**Basalt**	**Andesite**	**Rhyolite**
Rock Description	Black to dark gray; contains Ca-plagioclase, pyroxene, olivine	Medium to dark gray; contains amphibole, pyroxene, intermediate Ca-Na-plagioclase	Light-colored; contains quartz, K-feldspar, biotite, Na-plagioclase
Volume at Earth's Surface	80%	10%	10%
SiO_2 Content	45–55%	55–65%	65–75%
	——— increasing ——→		
Temperature of Magma	1,000–1,200°C	800–1,000°C	600–900°C
	——— decreasing ——→		
Viscosity	Low (melted ice cream)		High (toothpaste)
	——— increasing ——→		
Gas Escape from Magma	Easy		Difficult
	——— increasing difficulty ——→		
Eruptive Style	Peaceful		Explosive
	——— increasing explosiveness ——→		

الجدول (٦-٧) دليل القوة الانفجارية للبراكين

VEI	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Volume of Ejecta (m^3)	$<10^4$	10^4–10^6	10^6–10^7	10^7–10^8	10^8–10^9	10^9–10^{10}	10^{10}–10^{11}	10^{11}–10^{12}	$>10^{12}$
Eruption Column Height (km)	<0.1	0.1–1	1–5	3–15	10–25	>25			
Eruptive Style	<-----Hawaiian----->			<-----Vulcanian----->					
		<---Strombolian--->					<----------------Plinian---------------->		
Duration of Continuous Blast (hours)		<----------- <1 ----------->		<--- 1–6 --->			<------------ >12----------->		
					<------ 6–12 ------>				

After Newhall and Self (1982).

مراجع الفصل السادس

Suggested Readings and References نصوص ومراجع مقترحة

Bullard, F. M. (1984). *Volcanoes of the Earth.* Austin: University of Texas Press.

Carey, S., and Sigurdsson, H. (1987). Temporal variations in column height and magma discharge rate during the 79 A.D. eruption of Vesuvius. *Geological Society America Bulletin,* 99, 303–14.

Decker, R. W., and Decker, B. B. (1991). *Mountains of Fire.* San Francisco: Cambridge University Press.

Etienne, R. (1992). *Pompeii, The Day a City Died.* New York: Harry N. Abrams.

Francis, P., and Self, S. (1983, November). The eruption of Krakatau. *Scientific American,* 172–87.

Heliker, C. (1992). *Volcanic and Seismic Hazards on the Island of Hawaii.* U.S. Geological Survey Publication.

Newhall, C. G., and Self, S. (1982). The volcanic explosivity index (VEI). *Journal of Geophysical Research,* 1231–38.

Schmidt, R. G., and Shar, H. R. (1971). *Atlas of Volcanic Phenomena.* U.S. Geological Survey.

Tilling, R. I. (1982). *Volcanoes.* U.S. Geological Survey Publication.

White, D. E. (1984). *Geysers.* U.S. Geological Survey Publication.

Wright, T. L., and Pierson, T. C. (1992). *Living with Volcanoes.* U.S. Geological Survey Circular 1073.

Videos الفيديو

Hawaii: Born of Fire. (1995). NOVA/WGBH Boston (60 min.).

Volcano. (1992). National Geographic (60 min.).

In the Path of a Killer Volcano—Mount Pinatubo. (1993). NOVA/WGBH Boston (60 min.).

The Volcano Watchers. (1987). BBC-TV, (60 min.).

The Earth Revealed—Volcanism. (1992). Annenberg/CPB (30 min.).

Kilauea: Close-up of an Active Volcano. (1994). Ka'lo Productions Hawaii (30 min.).

Deadly Shadow of Vesuvius. (1998). NOVA/WGBH (55 min.).

الفصل السابع

ظاهرة البراكين والألواح التكتونية

توارت الحضارات القديمة فى مقابرِ

صارت تشيدها خطاياهم

لورد ريتشى كالدير، ١٩٧٠

رهن منزل الأسرة

زاد إدراكنا لكيفية نشاط الأرض زيادة ملحوظة بمعرفة نظرية الألواح التكتونية؛ إذ زودتنا بتأمل جديد فى الزلازل، وسوف نطبقها الآن على البراكين.

الألواح التكتونية وإثارة البراكين

يرتبط أكثر من ٩٠٪ من البراكين بحواف الألواح التكتونية، ومعظم البقية الباقية تسببها البقع الحارة (الشكل ٧-١). وما يزيد عن ٨٠٪ من صهارة الأرض التى تقذفها البراكين تحدث عند مراكز الانتشار. فمراكز الانتشار مواقع مثالية لإثارة البراكين لأنها: (١) تقع فوق نطاقات الانسياب (آستينوسفير) المرتفعة الحرارة؛ (٢) ولأن صخور نطاق الانسياب بها نسبة مئوية ضئيلة من ثانى أكسيد السيليكون SiO_2؛ (٣) ولأن الألواح المحيطية تتباعد مسببة تصاعد صخور نطاق الانسياب الحارة حتى تنصهر بفعل تخفيف الضغط عنها مكوِّنة صهارة تستمر فى الارتفاع. وهذه الصهارة

عالية الحرارة ذات لزوجة قليلة وبازلتية ويسهل للغازات التسرب منها (الشكل ٧-٢). وتضم مراكز الانتشار جميع العناصر التى تؤدى إلى الثورة الآمنة للصهارة.

وتقوم نطاقات الانضواء بإثارة من ٧-١٣٪ من جميع الصهارة. ويحمل اللوح المنضوى إلى أسفل قشرة بازلتية بها رواسب مشبعة بالماء إلى مناطق أشد حرارة (الشكل ٧-٢). ويخفض الماء الموجود درجة انصهار الصخر. وتذيب الصهارة البازلتية الصاعدة نسبيا بعضا من القشرة القارية التى تمر خلالها. وهذا يضيف انصهارا جديدا لمركبات مختلفة إلى الريشات (النافورات) المرتفعة من الصهارة. وكل ريشة ترتفع لها تركيب كيميائى فريد ولكنها تميل أساسا إلى الزيادة: (١) فى النسبة المئوية لثانى أكسيد السيليكون SiO_2؛ (٢) فى اللزوجة، (٣) فى إمكان انفجار الصهارة بالتشبث بالغازات فيها بشدة.

والصدوع التحويلية لا علاقة لها بالظاهرة البركانية إلا قليلا، ويمكن إدراك ذلك بالتفكير فى الأبعاد الثلاثة. ففى الصدع التحويلى ينزلق اللوحان قبالة بعضهما فى مستوى أفقى وفى كل الأوقات يحافظ على وجود غطاء فعال فوق نطاق الانسياب الحار أسفله.

ومن وجهة نظر الكوارث البركانية تتضح الفوارق. فالبراكين المحيطية آمنة نسبيا، بينما براكين مناطق الانضواء بما فيها من صهارة من الآنديسايت والريولايت متفجرة وخطيرة. وللأسف، يميل الناس إلى التجمع حول الحواف الشاطئية للقارات حيث تنشط معظم البراكين الخطيرة.

ويفكر الناس عادة فيما إذا كان البركان الواحد نشيطا أو ساكنا أو منطفئا. ونظرا للأمل الكبير فى أن يكون البركان خامدا (منطفئا)، ولصلاحية الأرض المحيطة به للاستثمار يخطئ الكثيرون عندما يحسبون البركان ساكنا. ولكن عليك أن تتأمل ما يلى: أن منطقة الانضواء تستغرق عشرات الملايين من السنين وأن منطقة براكينها نشيطة على طول الزمن. وربما ظل البركان الواحد نشيطا لمئات الآلاف حتى عدة ملايين من السنين. رغم نومه لعدة قرون بين ثوراته. وهناك قاعدة مفادها أن البركان إذا كان حسن الشكل جميل المخروط فهو نشيط. فالشكل الجميل خطير.

البراكين ومراكز الانتشار

تحدث معظم الظاهرة البركانية على الأرض على طول أنظمة سلاسل الجبال المحيطية حيث ينتشر قاع البحر. وترتفع صخور الوشاح الصلبة ولكنها حارة ولدنة إلى أعلى فى مناطق الضغط المنخفض حيث تسيل ٣٠-٤٠٪ من الصخور وتتدفق على شكل صهارة بازلتية. وتنساب من الأخاديد المنتشرة فى العالم صهارة تكفى لإيجاد ٢٠ كم٣ من القشرة المحيطية البازلتية الجديدة كل عام. وجميع هذه النشاطات البركانية تقريبا تحدث تحت سطح البحر ولهذا تصعب رؤيتها. ونتعجب حين نشاهد الجبال البركانية العالية والجميلة على حواف القارات ولكن حجم الصهارة المتدفقة قليل بالمقارنة بمثيله فى مراكز الانتشار.

آيسلاند

وآيسلاند هضبة بركانية كونتها الحمم البازلتية المندفعة من بقعة حارة تحت مركز انتشار وسط المحيط الأطلنطى. وهذا البلد يماثل حجمه حجم ولاية جورجيا؛ منه حوالى ١٣٪ من مساحته مغطى بمثلّجَات وثلثه مكون من براكين نشيطة. وفى أثناء ١,٠٠٠ سنة تقريبا من السجل البشرى تثور البراكين كل خمس سنوات فى المتوسط. ولا تحدث وفيات فى معظم ثورات البراكين فى آيسلاند، ولكن لكل قاعدة شواذ.

ثورة الشق فى عام ١٧٨٣

فى صيف عام ١٧٨٣ ثارت أعظم حمم تدفقت فى الزمن التاريخى بالقرب من لاكى. وفى صباح يوم ٨ يونية ١٧٨٣، أى بعد أسبوع من الزلازل انفتح شق طوله ٢٥ كم (١٦ ميلا) وظل يطفح حمما بازلتية لمدة ٥٠ يوما. وكان حادث لاكى ثورة عجيبة لشق حيث تدفقت الصهارة بقوة ٥٠٠٠ م٣/ثانية. ولسهولة تصور هذا الحجم من الصهارة عليك أن تعرف أن أقوى نهر فى العالم وهو نهر الأمازون يفرغ فى المحيط الأطلنطى

حوالى ضعف هذا الحجم. وعندما انتهت الثورة دفنت منطقة مساحتها ٥٦٥ كم^2 (٢١٨ ميلا مربعا) تحت حمم بازلتية حجمها ١٣ كم^3 (٣ أميال مكعبة). وبلغ حجم الرماد والشذرات الأكبر المحمولة جوا حوالى ٠,٣ كم^3 أخرى.

كانت ثورة ٥٠ يوما مصحوبة بتسرب كميات هائلة من الغازات التى غمرت آيسلاند وكثيرا من دول شمالى أوروبا فى ضباب جاف أو غيام أزرق. وكان هذا الغيام غنيا بثانى أكسيد الكبريت SO_2 (وهو أحد المكونات المرئية فى ضباب المدن حاليا) وكميات هائلة غير عادية من الفلورين- وهذه الغازات أبطأت من نمو الحشائش وزادت من محتواها من الفلورين، مما أدى إلى نفوق ٧٥٪ من خيول وأغنام آيسلاند و٥٠٪ من ماشيتها. وأنهكت المجاعة الناجمة عن ذلك شعب آيسلاند، ومات حوالى ٢٠٪ من تعداد سكانها البالغ ١٠,٠٠٠ نسمة. وفى عالم اليوم ذى الاتصال الفورى والنقل الجوى السريع يمكن تجنب مثل هذه الوفيات.

الفيضان الجليدى فى ١٩٩٦ : الجمع فى القراءة بين كلمات المجلدة (المثلجة) والصهارة فى جملة واحدة شىء غريب. فهما مادتان يبدو أنهما متنافرتان. وعندما تتحرك الصهارة وهى متصلة بالجليد تحدث أشياء غير عادية.

بدأت فترة من الزلازل فى جنوب شرقى آيسلاند فى يوم ٣٠ سبتمبر ١٩٩٦ على شكل شق انفتح على طول مركز انتشار وسط المحيط الأطلنطى تحت مجلدة ڤاتناجوكال التى تغطى ١٠٪ من مساحة آيسلاند. وفى يومين سالت الصهارة خلال الشق فى القمة الجليدية البالغ سمكها ٦٠٠ متر (٢٠٠٠ قدم) دافعة البخار والغازات الأخرى لعدة كيلو مترات فى الغلاف الجوى. وتدفق الماء السائل تحت المجلدة ليصل إلى بركان جريمسفوتن المغطى بالجليد، حيث تجمع فى كالديرة البركان. وبلغ حجم الماء السائل حوالى ٤ كم^3، ولكن فى يوم ٥ نوفمبر رفع الماء المتصاعد المجلدة فتدفق فيضان جليدى بمعدل ٤٥٠٠٠ م^3/ث (١٦٠٠٠٠٠ قدم مكعب فى الثانية). وتدفق الماء لمدة يومين تدفقه فى ثانى أكبر أنهار العالم، ثم هدأ بعد أن ساق إلى الشاطئ كتلا من الجليد تبلغ ١٠٠٠ طن فى مجرى النهر القصير الأجل. ودمر الماء المتدفق من الفيضان الجليدى والكتل الجليدية أطول الكبارى فى آيسلاند وخطوط الهاتف الرئيسية وأحد الطرق.

بحيرات كيلر فى الكاميرون فى أفريقيا

تبدأ مراكز الانتشار عادة على شكل أخاديد ثلاثية الألسنة تتقابل فى نقطة اتصال ثلاثية (الشكل ٢-٢٦). وفى شمال شرقى أفريقيا انتشر لسانان فى الأخدود وتباعدا بالقدر الكافى لإيجاد البحر الأحمر وخليج عدن، بينما أغلق اللسان الثالث حتى الآن ليفتح وادى أخدود شرقى أفريقيا فى حوض محيط جديد آخر (الشكل ٢-٢٧). فالأخاديد المغلقة التى لا تفتح بالقدر الذى يسمح بتكوين مراكز انتشار شائعة (مثال الشكل ٧-٣). فإذا فشل الأخدود فى فتح حوض محيط جديد، فهل يتوقف كل نشاطه؟

وتقع الكاميرون بالقرب من خط الاستواء فى غربى أفريقيا. وتقع فيها سلسلة من البحيرات التى كانت فوهات للبراكين وتتجه إلى الشمال الشرقى. وملأت الأمطار الغزيرة هذه البحيرات وتضافرت مع سخونة الحرارة لتفرش بقاع البلاد بالخضرة. وبحيرة نيوس واحدة من هذه البحيرات البركانية وقد امتلأت بالماء الجميل الأزرق العميق. ويبلغ عمر هذه الظاهرة البركانية الطبوغرافية العالية عدة مئات من السنين فقط. تفجرت فى صخور البلاد بانفجار الغازات البركانية ويبلغ أقصى اتساع لها ١,٩٢٥ مترا (٦,٣١٤ قدما) وعمقها ٢٠٨ مترا (٦٨٢ قدما).

وفى الساعة ٩,٣٠ من مساء يوم ٢١ أغسطس ١٩٨٦ دمدم صوت راعد فى إقليم بحيرة نيوس عندما تجشأت فوهة البحيرة كميات هائلة من الغاز واجتاحت الوديان المجاورة. وبلغ سمك الأنهار الكثيفة من دخان الغازات حوالى ٥٠ مترا (١٦٥ قدما) ومعدل تدفقها ٤٥ ميلا/ الساعة. وامتدت السحابة المتعلقة بالأرض لمسافة ٤٥ كيلومترا (١٦ ميلا) للخارج. وشعر سكان القرى الذين دهمتهم السحابة الغازية بالإعياء والدوار وارتفاع درجة الحرارة والارتباك قبل أن يصيبهم الإغماء. وبعد ٦-٣٦ ساعة أفاق خمسة أشخاص من غيبوبتهم ليجدوا أنفسهم محاطين بالموت: إذ اختنق ١٧٠٠ شخص ونفق ٣٠٠٠ رأس من الماشية ولم يبق على قيد الحياة طائر أو حشرة أو حيوان آخر. ولكن النباتات الوافرة النماء فى الإقليم لم تتأثر بشىء.

ويثير هذا الحادث المفجـع عـدة أسئلة. ما هـو الغـاز الذى أحـدث الوفيات؟ وما أصل هذا الغـاز؟ وكيف تجمع الغاز بمثل هذا القدر الهائل؟ وما الذى حرك هذا الجلمود الغازى؟ وهل من الممكن أن يتكرر هذا الحدث ثانية؟

ما هو الغاز الذى أحدث الوفيات؟ ثانى أكسيد الكربون. فبعد الجهود المضنية التى بذلت للتعرف على الغاز الغريب الفتاك أو المادة السامة التى سببت هذه المأساة تبين أن الغاز هو ثانى أكسيد الكربون. وهو نفس الغاز الذى نشربه من ينابيع المياه الغازية وشراب الصودا والشمبانيا. تشرح درجة سُمِّيَّته فى نيوس النظرية التى وضعها فى عام ١٥٢٩ الطبيب الألمانى ثيوفراستوس من هوهينهايم (باراسيلزوس). تقول نظرية باراسيلزوس: «إن الجرعة وحدها هى التى تقرر السم. فالغاز لا يشترط أن يكون ساما، بل كثرته هى التى تؤدى إلى السم». والحياة فى إقليم نيوس تعرضت لنفس الظروف التى نوجدها فى داخل أسطوانة إطفاء الحرائق فى مبانينا. فطفايات الحريق معبأة بثانى أكسيد الكربون، الذى لا يطفئ النار مباشرة؛ لأن ثانى أكسيد الكربون SO_2 أثقل من الهواء ويحرم النار من الأكسيجين وبهذا يجعلها تنطفئ. وحياة الإنسان والحيوان فى منطقة نيوس أُخمدت بنفس الطريقة.

وما أصل هذا الغاز؟ له أصل بركانى تسرب إلى أعلى من الصهارة البازلتية السفلى. ففى سلسلة من البراكين طولها ١,٦٠٠ كم (١٠٠٠ ميل) يميل خط براكين الكاميرون إلى الاتجاه نحو الشمال الشرقى فى عدة جزر بالمحيط الأطلنطى ثم يدخل اليابسة فى شمال شرقى نيجيريا وشمال غربى الكاميرون. والعجيب أن هذا هو موقع نقطة الاتصال الثلاثية لمراكز الانتشار التى فصلت هذا القسم من النصف الجنوبى للقارة الأم (جوندوانالاند) وساعدت على تمييز أبعاد هوامش المحيط الأطلنطى فى قارتى أمريكا الجنوبية وأفريقيا (الشكل ٧-٣). ولسانا الانتشار المتتاليان لا يزالان يوسعان جنوبى المحيط الأطلنطى. ويشغل الأخدود المغلق خط البراكين الذى يضم فوهة البركان التى كونت بحيرة نيوس؛ فليست جبلا بركانيا، بل فوهة انفجرت فى صخر الأساس بفعل الانفجارات الغازية الكبيرة. والنشاط البركانى ليس نتيجة انتشار قاع البحر بل نتيجة انفتاح قاع المحيط المؤقت وليس الشامل.

كيف تجمع الغاز بمثل هذا القدر الهائل؟ فالبحيرات بطبيعتها كتل متطابقة من الماء. فطبقات الماء فيها مختلفة في الكثافة، يتكدس بعضها فوق بعض. (وهذا هو نموذج مبسط عن اختلاف الكثافات الذى سبق أن ناقشناه عن الأرض كلها فى الفصل الثانى). فثانى أكسيد الكربون الذى تسرب من طبقة صهارة البازلت فى العمق تسرب إلى الطبقات السفلى من بحيرة نيوس وامتصته الطبقة السفلى الثقيلة من الماء واحتفظت به تحت ضغط الطبقات العليا من الماء (الشكل ٧-٤). وفى حادث يوم ٢١ أغسطس ١٩٨٦ تسرب حوالى بليون متر مكعب من الغاز فى حوالى ساعة؛ فكان أشبه شىء بفوران زجاجة شمبانيا هائلة الحجم، حيث أدت إزالة الصخور إلى انخفاض الضغط والسماح لثانى أكسيد الكربون بالخروج على شكل نهر طافح. وعندما بدأ ثانى أكسيد الكربون يتسرب من بحيرة نيوس، اضطرب ماء البحيرة فقل الضغط وسمح بتسرب حوالى ٦٦٪ من الغازات المذابة. وبعد الحادث انخفض منسوب البحيرة بمقدار متر واحد وتلون الماء بلون الطين البنى وتحركت النباتات الميتة الراكدة فى القاع.

وما الذى حرك هذا الجلمود الغازى؟ عرضت عدة مقترحات للإجابة على هذا السؤال؛ منها الثورة البركانية والانزلاق الأرضى والزلزال واضطرابات الرياح، وتغير درجة حرارة الماء مع ما ينتج عن ذلك من تقلب طبقات الماء فى البحيرة. والجدير بالذكر أن حدثا مشابها لهذا وقع قبله بسنتين فى بحيرة مونون فى يوم ١٥ أغسطس ١٩٨٤. وكان حادثا مشابها إلا أن القتلى فيه كان عددهم ٣٧ شخصا. ووقع الحادثان فى شهر أغسطس وهو وقت أقلِّ استقرارٍ فى مياه البحيرات فى الكاميرون. فهل كانت محض صدفة أم كان تقلبا عاديا لماء البحيرة أثناء فصل الأمطار؟

وهل من الممكن أن يتكرر هذا الحدث ثانية؟ بالتأكيد. فالغاز المتسرب من بحيرة نيوس خلَّف وراءه ٣٣٪ من ثانى أكسيد الكربون، وتسرب أكثر منه بانتظام من قاع البحيرة. وفى حوالى ٢٠ عاما يمكن أن يتشبع ماء البحيرة ثانية بثانى أكسيد الكربون. ويمكن أن تحدث نفس الوفيات ثانية ما لم تتخذ الإجراءات الوقائية. ويمكن إنشاء شبكة من المضخات لتسحب ببطء وبصفة مستمرة ماء القاع المشبع بثانى أكسيد الكربون وتضخه فى مجارى المياه السطحية. وهذا يمنع تركيز ثانى أكسيد الكربون من التجمع حتى مستوى الانفجار.

البراكين فى مناطق الانضواء

تبلغنا الصحف والتلفاز عن الثـورات البركانيـة الفتـاكة فى براكين جاليراس فى كولومبيا ومونت أنزين فى اليابان وجبال بيناتيوبو ومايون فى الفيلبين وجبل سانت هيلانة فى واشنطن وبوبوكاتيبيتل فى المكسيك وتلال سوفريير فى مونتسيرات. وهذه هى جـميع براكين مناطق الانضـواء ذات أكبـر الأضـرار بالإنسـان. وبعض الأقـاليم المحـيطة ببـراكين مناطق الانضـواء ذات كـثافـة سكانيـة عـاليـة وتشـعـر بغـضب هذه الثورات. وكذلك تضر بالطقس، نظرا إلى أن هذه البراكين تقع على سطح الأرض فهى تثور مباشرة فى الغلاف الجوى (انظر الفصل التاسع).

وعندما يصل لوح الانضواء المحيطى إلى عمق حوالى ١٠٠ كم (أكثر من ٦٠ ميلا) تتكون الصـهارة وترتفـع إلى السطح (الشكل ٧-٥). والسبب المبدئى لتكون الصـهـارة هـو أن اللوح المنضوى يحمل غطاء من الرواسب والماء والمعادن المتحدة مع الماء. والماء ولو بكميـات ضـئيلة يساعد على الإذابة الجزئيـة بخفض درجة الحرارة حتى تنصـهر صخور القشرة الأرضيـة فى الوشاح العلوى. كما يحرك اللوح المنضوى الوشاح رافعا الصخور الحارة فى العمق مما يحدث فيها الانصهار بتخفيف الضغط.

وتتم عملية الانصـهار جزئيا؛ إذ تؤثر فقط على المعادن ذات درجة الانصهار المنخفضة. وعندما يرتفع هذا المنصهر جزئيا يصهر بدوره جزءا من القشرة الأعلى منه لينتج صهارة ذات تركيبات متنوعة (الشكل ٧-٦) وتعتمد تركيبات الصهارة على كمية الصخر المنصهر من القشرة التى تتحد مع الصهارة المرتفعة. وعموما، يزيد المحتوى من ثانى أكسيد السيليكون SiO_2 والماء مما يزيد من قدرة الصهارة على الانفجار. ويمكن تمييز الظواهر المتنوعة لهذه الصهارات التى تصل إلى سطح الأرض عند النظر إلى أحداث بركانية محددة وتوابعها.

سلسلة جبال كاسكيد فى الشمال الغربى المطل على المحيط الهادى

يتكرر حدوث الثورات البركانية فى البراكين المتعددة فى الإقليم الشمالى الغربى من أمريكا الشمالية المطل على المحيط الهادى (الشكل ٧-٧)، وعملية الألواح التكتونية

المسئولة عن هذه البراكين تفسر تماما أسباب الزلازل الكبيرة فى الإقليم – وهى الانضواء. والواقع أن الثورات المتكررة من براكين سلسلة جبال كاسكيد تزودنا بالدليل القاطع لنشاط الانضواء. وانصهار جزء من إسفين الوشاح (نطاق الانسياب) فوق اللوح المنضوى يرجع إلى مساعدة الماء المتسرب من الرواسب المترسبة على اللوح المنضوى. وتذيب الصهارة جزئيا صخور القشرة العلوية كذلك، دافعة صهارة الآنديسايت إلى أعلى. ويتجمع بعضها فى جيوب كبيرة ويبرد تحت سطح الأرض مكونا صخورا جوفية، بينما يثور بعضها متفجرا على السطح.

كم عدد مرات تكرار هذه الثورات الكبيرة؟ والإجابة عن هذا السؤال موثقة فى الدراسة التى أجراها دوايت كرانديل ورفاقه فى عام ١٩٧٥ عن جبل سانت هيلانة. وتفيد التقارير التى قدموها بأن البركان الكبير المرئى تكوَّن فى السنوات ٢٥٠٠ الأخيرة. ومنذ ذلك الوقت ويتعرض جبل سانت هيلانة لثورات كبرى كل قرن أو قرنين، ولم يسلم من البراكين الكبرى منذ أكثر من ٥٠٠ سنة (الشكل ٧–٨). فكيف توثقت هذه الأحداث التى حدثت قبل التاريخ؟ هذه العملية هى ذاتها المستخدمة لاستنباط تواريخ الزلازل التى حدثت قبل التاريخ. فالمنحدرات القريبة من البركان تحمل بقايا الأشجار التى أطاحتها الانفجارات البركانية (الشكل ٧–٩). وربما طمرت هذه الأشجار تحت رماد البراكين، ضمن الحمم البركانية أو بأية طريقة أخرى تحفظها. وتبلغنا كذلك تقديرات الكربون المشع بتواريخ هلاك الأشجار بسبب الثورات البركانية التى قضت عليها (الشكل ٧–١٠). ويقول تقرير دراسة ١٩٧٥: «ورغم سكون بركان سانت هيلانة منذ عام ١٨٥٧ فإنه سيثور ثانية؛ وربما كان ذلك قبل نهاية هذا القرن». وتنبأ بذلك التحليل الجيولوجى (الشكل ٧–١١).

جبل سانت هيلانة، فى واشنطن فى ١٩٨٠ : فى أواخر شهر مارس ١٩٨٠ استيقظ بركان جبل سانت هيلانة من سباته الذى امتد ١٢٣ سنة. وتحدث عشرات الزلازل ذات القوة ٣ كل يوم عندما تتخذ الصهارة سبيلها نحو السطح. وفى يوم ٢٧ مارس بدأت تحدث انفجارات صغيرة عندما ظهرت طفوح من المياه الجوفية والصهارة. وكان مشهد ثورة البركان يغرى المشاهدين برؤيته. واحتشد الناس عند جبل سانت هيلانة. وتعطلت حركة المرور البطيئة بما يذكِّر الناس بالزحام فى ساعات الذروة فى

المدن الكبرى. ولكن هذا العملاق المتفجر أخذ يسخن حتى تعرضت حياة جميع المخلوقات للخطر الداهم. وأمرت حاكمة ولاية واشنطن بقفل الطرق المؤدية إلى جبل سانت هيلانة بسدادات الطرق لمنع الناس من الاقتراب منه. واستهجن الناس عملها هذا. وفى الساعة ٨,٣٢ من صباح يوم ١٨ مايو ١٩٨٠ قذف البركان بقمة مخروطه البالغ مساحتها ٤٠٠ متر (١,٣١٣ قدما) فى مشهد انفجار مثير تولَّدت عنه طاقة تزيد ١٠٠ مرة عن قوة جميع محطات توليد القوى فى الولايات المتحدة مجتمعة. وكان معظم القتلى وعددهم ٦٢ قتيلا قد تسللوا حول سدادات الطرق لمشاهدة ثورة البركان عن كثب. وتهيئ لنا النظرة إلى تسلسل الانفجار مثالا جيدا لكيفية ثورة البركان الانفجارى (الشكل ٧-١٢).

أولا، اكتسب جبل سانت هيلانة شكله المخروطى الجميل فى أواسط القرن التاسع عشر (الشكل ٧-١٢أ). ففى ١٨٤٣ تكونت قبة غنية بثانى أكسيد السيليكون SiO_2 فى قمة البركان. وفى ١٨٥٧ بردت تدفقات من حمم الآنديسايت فوق المنحدرات العالية. ولكن هذه الأحداث أوجدت تقطعا أو ضعفا فى مخروط البركان.

ثانيا، فى ١٩٨٠ بدأت الصهارة الصاعدة فى تغيير شكل البركان (الشكل ٧-١٢ ب). وتعددت أعماق بؤر الزلزال وتراوح عمقها من ١ حتى ٣ كم (٠,٦ حتى ١,٩ ميلا). وكانت الزلازل توضح حقن وتجمع الصهارة. وبصعود الصهارة إلى أعلى بدأ الجانب الشمالى للبركان فى الارتفاع. وبزيادة حجم الصهارة كذلك زاد حجم تجمعات المياه الجوفية المتمددة. وكان أثر الزلزال عظيما. فبحلول يوم ١٢ أبريل ارتفعت منطقة مساحتها ٢ كم^{٢} (١ر٢ ميلا مربعا) على الجانب الشمالى وامتدت ١٠٠ متر (٣٢٥ قدما) للخارج. وتفاقم هذا الموقف غير المستقر، عندما أخذت هذه البقعة الضخمة فى الزيادة بمعدل حوالى ١,٥ مترا (٥ أقدام) فى اليوم.

ثالثا، فى الساعة ٨,٣٢ من صباح يوم ١٨ مايو ١٩٨٠ دهم البركان زلزالٌ قوته ٥,١ وحرك انزلاقا أرضيا/ جلمودا عملاقا، إذ سقطت كتلة حجمها ٢,٥ كم^{٣} من الجانب الشمالى للجبل وتدحرجت بسرعة حتى ٢٥٠ كم/ساعة (١٥٠ ميلا/ساعة) (الشكل ٧-١٢ج). وكان هذا الجلمود كتلة من الصخر المتفتت التى كانت قمة الجبل

وجانبه مختلطة بكتل الجليد والثلج والصهارة والتربة وحطام الأشجار، وبلغت حرارتها الداخلية حوالى ١٠٠° مئوية (٢١٢° ف). وارتطم جزء من الجلمود ببحيرة سبيريت محدثا أمواجا ارتفاعها ٢٠٠ متر (٦٥٠ قدما). وامتطى جزء آخر من الجلمود سلسلة جبال ارتفاعها ٣٦٠ مترا (١,١٨٠ قدما) تقع على بعد ٨ كم (٥ أميال) إلى الشمال؛ ثم استدار وتحرك ٢٣ كم (١٤ ميلا) إلى أسفل التفريعة الشمالية لنهر توتيل (الشكل ٧-١٣). ونتج عن ذلك حطام من مزيج عشوائى من الصخور المحطمة والفتات المتناثر الذى بلغ سمكه ٤٥مترا (١٥٠ قدما) واتخذ شكل أكمة ارتفاعها ٢٠ مترا (٦٥ قدما) فوق سطح الأرض. وكانت هذه المواد قبل فترة قصيرة قمة للجبل. وفى نفس الوقت الذى انطلق فيه الجلمود تكونت حمم طينية وتدفقت على أودية النهر على شكل جزيئات من الصخور مختلطة بالماء المتكون من الجليد الذائب والثلج من بحيرة سبيريت، ومن باطن الجلمود. واستمرت هذه الردغة فى التكوين والتدفق لعدة ساعات منذ أن بدأت ثورة البركان. وتدفقت الحمم الطينية لمسافات بعيدة (الشكل ٧-١٣) بسرعة تصل إلى ٤٠ كم/ساعة (٢٥ ميلا/ساعة) حاملة معها جلاميد مستديرة ضخمة وهى تتدفق بدرجة سيولة تماثل الأسمنت المبلل.

رابعا، وعندما بدأ الانزلاق الأرضى يفسح الطريق أدى الانخفاض المفاجئ فى الضغط على الصهارة المشبعة بالغازات والمياه الجوفية ذات الحرارة الفائقة إلى حدوث انفجار هائل (الشكل ٧-١٢ د). ودوّى الانفجار والموجة بسرعة حتى ٤٠٠ كم/ساعة (٢٥٠ ميلا فى الساعة). ولحق الانفجار بالجلمود السريع وتجاوزه متسابقا فوق أربع سلاسل كبيرة من الجبال، حارقا مساحة قدرها ٥٥٠ كم^{2} بكمية قدرها ٠,١٨ كم^{3} من الصخور البركانية المتفتتة وباعثا دوّامة غازية حرارتها ٣٠٠° م (٥٧٢° ف) (الشكل ٧-١٣). وكان الانفجار عبارة عن تدفق للصخور الفتاتية الحرارية. وزادت كثافته عن كثافة الهواء، فكان يمر فوق الأرض كسحابة داكنة مشبعة بالغازات البركانية المضطربة تحتفظ بشذرات صلبة من الصخور وقطع من الصهارة والأشجار الممزقة عالقة فيها: وكانت أشبه شيء بسائل قليل اللزوجة جدا.

خامسا، فتح الانفجار الكبير حلق البركان، ليطفح كتلا فوارة من الصهارة. وتصاعدت الغازات المتوهجة المتسربة بسرعة حاملة معها قطعا صغيرة من الصهارة

فى ارتفاعات عالية زادت عن ٢٠ كم (١٢ ميلا) أثناء مرحلة بلايني التى استمرت حوالى تسع ساعات (الشكل ٧-١٢ هـ). وحملت الغازات التى تغلى ١ كم³ من الرماد إلى أعلى وإلى الخارج. وحملت أنظمة الرياح المتنوعة حوالى ٠,٢٥ كم³ من ذلك الرماد فوق الولايات المتحدة على ارتفاعات مختلفة. وتكونت كميات أخرى مقدارها ٠,٢٥ كم³ من تدفقات الصخور الفتاتية الحرارية التى قذفها البركان أو التى تساقطت من سحابة الثورة البركانية. بلغت درجات حرارة هذه التدفقات من الصخور الفتاتية الحرارية من ٣٠٠° حتى ٣٧٠° مئوية (٥٧٢ حتى ٧٠٠° ف) وتحركت بسرعة بلغت ١٠٠ كم/ساعة (أكثر من ٦٠ ميلا فى الساعة).

سادسا، يُصْلِح البركان الآن ببطء ما أفسد من قبة مخروطه التى كانت متناسقة من قبل؛ إذ بنى قبة غنية بثانى أكسيد السيليكون SiO_2 (الشكل ٧-١٢و). ويستمر نمو هذه القبة فى القرن الحادى والعشرين.

ويبدو جبل سانت هيلانة مختلفا تماما فى هذه الأيام (الشكل ٧-١٤)؛ فقد ذهبت إلى غير رجعة قمة الجبل وحقول الجليد، والغابات والبحيرات. فوديان النهر التى كانت ذات يوم حافلة بالأشجار تراها اليوم مسدودة بحطام البراكين (الشكل ٧-١٥). ولكن النجدة قائمة على قدم وساق. فالبكتيريا تأكل الرواسب الطينية من البحيرات القذرة وتترك الماء عذبا حافلا بأسماك التونة. وأورقت النباتات من جديد فى الأرض القاحلة، وعادت الحيوانات لترعاها. وعادت الحياة تدب فى كل ما أفسد البركان.

فهل كانت الانفجارات البركانية فى جبل سانت هيلانة أحداثا نادرة الحدوث؟ وهل يحتمل وقوع أحداث مماثلة فى براكين أخرى بسلسلة جبال كاسكيد فى حياتنا؟

قمة لاسين، فى كاليفورنيا، فى ١٩١٤- ١٩١٧ : ليس بركان قمة لاسين بركانا نمطيا؛ بل هو قبة من الحمم الكبيرة غير العادية (حجمها حوالى ١ ميل³) وتتكون من صخور بركانية غنية بثانى أكسيد السيليكون SiO_2 وتماثل القبة النامية فى جبل سانت هيلانة اليوم (الشكل ٧-١٢ ز). فقمة لاسين مبنية فى حطام جبل تهامة الذى كان ذات يوم بركانا كبيرا (الشكل ٧-١٦).

تتكوّن قباب الحمم عندما تكون الصهارة لزجة جدا بحيث لا تستطيع التدفق؛ بل تبرز إلى أعلى وتعمل كسدادة لقناة التوصيل (الشكل ٧-١٧). وتنمو قبة الحمم كثيرا من أسفل عندما تتصلب الصهارة فى قاعدة القبة. وربما ترتفع قبة الصهارة عندما تتجمع الصهارة تحتها، وتهبط عندما تنبجس الصهارة من الجانب خلال الشقوق. وربما تنفجر قبة الحمم متفتتة (جبل سانت هيلانة فى ١٩٨٠)؛ وربما ترتفع إلى أعلى فوق حافة الفوهة، قاذفة بالصخور الفتاتية الحرارية التى تتدفق على أجناب البركان (جبل آنزين فى ١٩٩١)؛ أو تتحجر وتعمل كسدادة تساعد على إنهاء مرحلة الثورة. وأكبر قبة حممية معروفة، تقع فى جبل لاسين.

استيقظت قمة لاسين فى مايو ١٩١٤ بعدة ثورات بلغت ذروتها فى ١٨ يوليو ١٩١٤ بمرحلة كبيرة بعثت فيها سحابة من الرماد إلى ارتفاع ٣,٣٥٠ مترا (١١٠٠٠ قدم). واستمر النشاط البركانى على نطاق صغير ولكن الأحداث الكبرى لم تعد حتى مايو ١٩١٥. وفى الفترة من ١٦ حتى ١٨ مايو ١٩١٥ اكتظت الفوهة بالصهارة اللزجة التى ارتفعت أعلى من الحافة. وكانت الصهارة من اللزوجة بما منعها من التدفق خارج الحافة، ولكنها تكسرت إلى كتل ساخنة حمراء وتدحرجت على الأجناب إلى أسفل. وفى ١٩ مايو انسكب شريط طويل من الحمم طوله ٣٠٠ متر (١٠٠٠ قدم) على جانب التل إلى الغرب. بينما فى الشرق اتحد الجليد الذائب بفتات الصخور ليبدأ فى الحركة على شكل كتل من الحمم الطينية الذى تدفقت إلى الخارج لمسافة ٥٠ كم (٣٠ ميلا). وفى اليوم ذاته وعلى المنحدر الشمالى انشق جانب قمة لاسين، وانفجر تدفق الصخور الفتاتية الحرارية كخليط من الغازات الفائقة السخونة وحطام الصخور المتفتتة والأشجار والماء مدمرة مساحة مثلثة الشكل طولها ٦ر٥ كم (٤ أميال) وعرضها ١,٦ كم (ميل واحد) (الشكل ٧-١٨). واستمر النشاط البركانى بمزيد من تدفقات الحمم الطينية والصخور الفتاتية الحرارية؛ وفى يوم ٢٢ مايو انفجرت بعنف سحابة من الرماد على شكل المظلة (المشروم) ارتفاعها ٨ كم (٥ أميال). وظلت لاسين آمنة نسبيا خلال عام ١٩١٦ ولكن فى مايو ويونية ١٩١٧ عاود البركان نشاطه.

فى ثلاث سنوات من أربع، شَهِدَ شهر مارس بداية النشاط البركانى المكثف. فهل كان ذلك بمحض الصدفة؟ ربما كان كذلك، ولكن من الممكن أن يكون الماء الذائب

من الجليد غطس وتعرض للحرارة فى باطن الأرض وتمدد حجمه مما ساعد على شق قمة لاسين وقلل الضغط الداخلى لكى تبدأ الثورات. وفى العام الخالى من البراكين ١٩١٦ بلغت قمة لاسين من الحرارة ما منع تراكم الجليد عليها.

وفى القرن العشرين شهد بركان سلسلة جبال كاسكيد ثورات متماثلة ذات انفجارات موجهة من الأجناب (تدفقات صخور فتاتية حرارية) وتدفقات حممية طينية بركانية بعيدة المدى (لاهار)، وثورات عمودية كبيرة من الرماد (مرحلة بلاينى). ولحسن الحظ أن تحدث كل من هذه السلاسل من الثورات فى مناطق نادرة السكان. فما هى التوقعات المنتظرة لمثل هذه الثورات بالقرب من المدن والقرى؟

جبل شاستا فى كاليفورنيا : يعتبر جبل شاستا البالغ من الارتفاع ٤٣١٨ مترا (١٤١٦٢ قدما) ثانى أعلى براكين سلسلة جبال كاسكيد (الشكل ٧-١٩). وثالثها ارتفاعا هو جبل شاستينا (٢٥٧٩ مترا أو ١٢٣٣٠ قدما) وهو الجاثم على كتفه. وهذه الكتلة المركبة من الجبال تثير الاهتمام إذ تقف شامخة ٣٠٠٠ متر (١٠٠٠٠ قدم) أعلى مما يجاورها؛ ويراها المشاهد من بعد يزيد عن ١٦٠ كم (١٠٠ ميل). وهو بركان نشيط ثار ١١ مرة على مدى ٣٤٠٠ سنة الماضية بما فيها ٣مرات على الأقل فى ٧٥٠ سنة الأخيرة. وكانت آخر ثورة له فى عام ١٧٨٦ تقريبا.

ومنطقة جبل شاستا يتمتع من يعيشون فيها بجمالها وبمدنها الممتدة على طول قاعدة البركان التى تتنامى. فهل هناك حكمة فى ذلك؟ فالميول السفلى لجبل شاستا عريضة ومنبسطة تسمح لتدفقات الصخور الفتاتية الحرارية بالانتشار بعد أن تهبط من أجناب البركان (الشكل ٧-٢٠). والحمم الطينية كثيرا ما تتدفق فى الأودية التى تقع فيها المدن (الشكل ٧-٢١). وتزودنا سجلات الصخور بالأسباب التى تدفعنا إلى التوقف والتأمل فيما إذا كان من الحكمة البناء هنا أم لا. ويوضح الشكل (٧-٢٢) توزيع حطام الجلاميد منذ ٣٠٠٠٠٠ سنة الممتد على طول ٤٣ كم (٢٧ ميلا) من قاعدة البركان. وهذا الحدث الكارثى رسب حطاما يزيد ثمانى مرات عما فعله بركان جبل سانت هيلانة فى عام ١٩٨٠. وهذه الكتلة المختلطة بالقرب من جبل شاستا هى قاعدة تأسست عليها ثلاث مدن وخزان كبير.

فهل ينصح الخبراء بإقامة حاجز يحدد منطقة براكين سلسلة جبال كاسكيد الخطيرة ولا يسمحون ببناء المدن فيها؟ صرح الجيولوجيون دوايت كراندل ودونال موللينو وميئير روبين بأنه:

ربما تنخفض مدة الخطورة المحتملة من الثورات في المستقبل إلى ما يتناسب مع عمر الإنسان أو مع متوسط العمر المتوقع لمبنى محدد أو منشأة. ولكن عند بناء المناطق السكنية والمرافق الأرضية الأخرى يقصد بها أن تدوم لعدة قرون أو ألفيات من الزمان.

جبل رينيير في واشنطون : وجبل رينيير أعلى براكين سلسلة جبال كاسكيد، إذ يبلغ ارتفاعه ٤٣٩٣ مترا (١٤٤١٠ قدما). ويرتفع عن المنطقة المحيطة به من ٢١٥٠ مترا حتى ٢٤٥٠ مترا (٧٠٠٠ حتى ٨٠٠٠ قدم). وهو حارس جميل يراه المشاهد من خلال إقليم سييتل - تاكوما المدنى (الشكل ٧-١١). إلا أن جبل رينيير يقع فى المرتبة الأولى من قائمة الخطر عند كثير من خبراء الجيولوجيا بسبب: (١) الارتفاع الشاهق، (٢) اتساع قمته الجليدية، (٣) كثرة الزلازل، (٤) أنظمة ينابيع الماء الحارة النشيطة التى أنهكت الجبل من الداخل. فجبل رينيير يمكن اعتباره كتلة حجمها ٣٣,٦ ميلا مكعبا من الصخر الضعيف البنية تتوجه هامة من الثلج والجليد حجمها ميل مكعب واحد؛ وهذا الجبل البركانى فى طبيعته غير مستقر. وجبل رينيير متنزه وطنى ولا يمكن تنميته بكثافة؛ ويشكل تهديدا أكيدا للمناطق العالية الكثافة السكانية. وربما ينهار الجبل فى كتل من الجلاميد، أو/و الجليد السريع الذوبان فتنهمر منه الفيضانات والحمم الطينية. ويحمل جبل رينيير أكبر نظام لمجلدة من أى جبل فى الولايات ٤٩ المنخفضة. ويمكن أن يذوب هذا الجليد بفعل الصهارة التى ترتفع داخل الجبل حتى ولو لم يكن به نشاط بركانى.

ويسفر سجل الصخور عن حمم طينية كثيرة وبعيدة المدى حدثت فى العدة آلاف سنة الأخيرة (الشكل ٧-٢٣). وتحركت تدفقات أوسكولا الطينية منذ حوالى ٥٦٠٠ سنة لمسافة ١٢٠ كم (٧٥ ميلا) فى وادى نهر وايت قبل أن تنتشر فوق منخفضات

بوجيت ساوند وفى داخل بوجيت ساوند. وغطت منطقة أوسع من ١٠٠ ميل مربع بعمق ٢٠ مترا (٧٠ قدما). بدأت تدفقات أوسكولا الطينية على شكل جلمود مشبع بالماء أثناء ثورات قمة جبل رينيير. وتحولت إلى حمم طينية غنية بالصلصال عند تحركها مسافة كيلومترين وهى تحمل كميات من المواد يقدر حجمها ٣,٨ كم٣ (٠,٩ ميل مكعب) بسرعات تصل إلى ٤٥ ميلا فى الساعة عبر منخفضات بوجيت ساوند. وأصبحت المنطقة المتضررة مأوى الآن لحوالى ١٠٠٠٠٠ نسمة. ولو تكررت حمم طينية فى مثل حجم أوسكولا لقتلت آلافا من البشر. ولكى تتصور ما قد يحدث انظر إلى الحمم الطينية فى آرميرو فى كولومبيا فى عام ١٩٨٥ (الشكلان ٧-٢٨ و٧-٢٩)؛ إذ كان حادث أوسكولا أكبر ٤٠ مرة من الحمم الطينية (اللاهار) فى آرميرو.

ويبلغ عمر تدفقات إليكترون الطينية ٥٠٠ سنة؛ إذ تدفقت فى وادى نهر بيالوب لمسافة ٤٨ كم (٣٠ ميلا) وكذلك فوق منخفضات بوجيت ساوند. والإقليم اليوم مكان مرغوب فى العيش فيه، ويتنامى تعداد سكانه بسرعة وتبنى المنازل على قمة هذه الرواسب من الحمم الطينية. والثورة الكبرى المرتقبة لبركان جبل رينيير ربما جلبت خسائر مذهلة فى الأرواح والممتلكات.

الأحداث والقوى المهلكة فى براكين مناطق الانضواء

وهناك أمثلة مذهلة أخرى تحدثها قوى الانضواء بحيث لا يمكن تجاهلها.

تدفقات الصخور الفتاتية الحرارية

قليل من الأحداث التى تقع على الأرض ما يخيف مثل السحابة الهائجة الفائقة الحرارة الحاملة للرماد والغازات والهواء التى تقترب منك. ويسجل التاريخ العديد من الحالات لمثل هذه التدفقات من الصخور الفتاتية الحرارية التى تقتل فى كل حادث

آلاف البشر. وتبدأ تدفقات الصخور الفتاتية الحرارية فى تنويعة من الوسائل (الشكل ٧-٢٤). وتوضح الأمثلة الحديثة أساليب بداية هذه التدفقات الصخرية الفتاتية الحرارية.

جبل مايون فى الفيليبين فى عام ١٩٦٨ : منذ عام ١٦١٦ سجل الخبراء ٤٠ ثورة قاتلة لبركان جبل مايون. وفى عام ١٩٦٨ تولَّدت تدفقات الصخور الفتاتية الحرارية عدة مرات (الشكل ٧-٢٥). وفى جبل مايون كثيرا ما تحمل الانفجارات العمودية الرماد وتصعِّدُه إلى ارتفاع ١٠ كم أو أكثر. ثم تنهار السحابة المثقلة بالرماد والغاز عادة وتتساقط على منحدرات البركان على شكل تدفقات من الصخور الفتاتية الحرارية تتحرك بسرعة تصل إلى ١٢٥ ميلا فى الساعة (الشكل ٧-٢٤ د).

جبل أنزين فى اليابان فى عام ١٩٩١ : فى عام ١٩٩٠ بدأت قبة الحمم تنمو فى جبل أنزين مما جذب إليها أنظار العالم. وعندما نمت قبة الحمم ارتفعت ٩٠ مترا (٣٠٠ قدما) فوق حافة الفوهة تم إجلاء آلاف المقيمين فى القرى ومزارع الشاى حول قاعدة جبل أنزين. وعلى أية حال، أقبل الصحافيون وخبراء الجيولوجيا ليسجلوا الانهيارات العديدة لكتل قبة الحمم من ارتفاع يتراوح بين ٢٠٠ و٣٠٠ قدم ويشاهدوها وهى تتدحرج على المنحدر على شكل تدفقات صخرية فتاتية حرارية (الشكل ٧-٢٤ أ). وفى الساعة ٤,٠٩ مساء يوم ٣ يونية ١٩٩١ سقطت من قبة الحمم كتلة أكبر من سابقاتها بشكل غير عادى وتدحرجت على المنحدر بسرعة ٦٠ ميلا فى الساعة وقتلت ٤٢ شخصا من المشاهدين منهم مصورا البراكين الفرنسيين موريس وكاتيا كرافت. وفى وقتنا هذا يعتبر جبل آنزين رائدا عالميا فى تدفقات الصخور الفتاتية الحرارية؛ ومنذ عام ١٩٩١ حدثت أكثر من ٧٠٠٠ حادثة.

جبل بيليه فى الفترات ١٩٠٢- ١٩٠٣ و١٩٢٩-١٩٣٢ : استعمر الفرنسيون جزيرة مارتينيك من جزر الهند الغربية الواقعة فى البحر الكاريبى فى عام ١٦٣٥. وكان مناخها المدارى مثاليا لزراعة قصب السكر لإشباع نهم العالم المتنامى لمادة السكر. وفى أقصى شمالى جزيرة مارتينيك يوجد بركان ذو قمة واضحة وارتفاعه ١٣٥٠ مترا (٤٤٣٠ قدما)؛ وأطلق الفرنسيون عليه اسم بيليه بمعنى الأجرد ليصف

المنطقة الجرداء التى دمرتها البراكين وأتت على الأخضر واليابس، كما اتضح من ثورات ١٧٩٢ و١٨٥١.

طفح بركان جبل بيليه عدة تدفقات صخرية فتاتية حرارية فى الفترة من ١٩٠٢ حتى ١٩٠٣ وفى الفترة من ١٩٢٩ حتى ١٩٣٢. بدأ الكثير من هذه التدفقات الصخرية الفتاتية الحرارية على شكل طفوح من الرماد الحار والغازات تفيض من حافة الفوهة بشكل يشبه إناء يغلى ويفور على الموقد (الشكل ٧-٢٤ ب).

وفى عام ١٩٠٣ تصلبت قبة الحمم فى قناة التوصيل المركزية في بركان جبل بيليه. وارتفعت قبة الحمم إلى أعلى على شكل بروز يرتفع ٣٤٩ مترا (١,١٤٥ قدما) فوق حافة الفوهة. ولكن يتميز جبل بيليه بتدفقات الصخور الفتاتية الحرارية المتولِّدة عن الانفجارات الموجَّهة (الشكل ٧-٢٤ ج). حدث هذا النمط من التدفق فى جبل سانت هيلانة فى ١٩٨٠ وجبل بيناتيوبو فى ١٩٩١ (الشكل ٦-٢٣)؛ ولكن أكثرها فتكا كان فى جبل بيليه فى عام ١٩٠٢.

جبل بيليه، فى مونتينيك فى ١٩٠٢ : فى مطلع الربيع فى عام ١٩٠٢ بدأ النشاط البركانى. وبدأت الفوهة تمتلئ بالصهارة الشديدة اللزوجة، التى حلت محل ماء البحيرة الذى يغلى خلال شعبتين على شكل حرف V (الشكل ٧-١٦). وظلت الصهارة ذات اللزوجة غير العادية تسد الفوهة. وأحيانا كانت تطفح تدفقات من الصخور الفتاتية الحرارية البالغة السخونة؛ وأحيانا أخرى كانت تنفجر. وفى أواخر أبريل بدا واضحا لكثير من شهود العيان أن هذا الاضطراب آخذ فى الزيادة. وكان يهاجر كل يوم حوالى ٧٠٠ فرد من الرعاة إلى سانت بيير، وهى مدينة جميلة المنظر شيدت مبانيها فى باكورة القرن السابع عشر وكانت مأوى لعدد ٢٥٠٠٠ مواطن. وفى كل يوم كان يغادر ٣٠٠ فرد مدينة سانت بيير التى تبعد ١٠ كم (٦ أميال) عن جبل بيليه. وبعد قليل من ظهيرة يوم ٥ مايو تدفقت كميات كبيرة من الصخور الفتاتية الحرارية فى ريفيير بلانش مدمرة مصنع السكر و٤٠ فردا. وزاد هذا من القلق الذى انتاب سكان سان بيير. وكانت الانتخابات تقترب فى يوم ١٠ مايو وأراد الحاكم ألا يتفرق الناس من كبرى مدن الجزيرة. وكان من المرجح أن تتغير نتائج الانتخابات. وذهب الحاكم مونيت

وزوجته إلى سانت بيير وكلفوا جنود جيش الاحتياط (الميليشيات) بحفظ النظام ووقف هجرة الخارجين من المدينة. وهو قرار جانبه الصواب. ولم تكن هناك انتخابات فى يوم ١٠ مايو على أية حال؛ إذ مات كل الناخبين بما فيهم الحاكم فى يوم ٨ مايو (الشكل ٧-٢٧).

ففى صباح يوم ٨ مايو ١٩٠٢ ارتفعت كتلة ضخمة من الصهارة الشديدة اللزوجة والمشبعة بالغاز إلى قمة الفوهة. وفى حوالى الساعة ٧,٥٠ صباحا دوّت انفجارات حادة سمعت كآلاف المدافع تنطلق وانفجرت فقاعات الغاز الحبيسة ومزقت الصهارة إلى قطع صغيرة. وتحرك هذا التدفق من الصخور الفتاتية الحرارية المبهرة على شكل جلمود متوهج بالحرارة من الغازات الملتهبة ووميض من الشذرات البركانية، أسماها الفرنسيون «السحابة المتوهجة». وتحركت الكتلة عندما تعلقت جزيئات الصهارة الصلبة فى الغازات. واستمدت قوتها من: (١) الانفجار الابتدائى، (٢) الجاذبية، (٣) الغاز المستمر فى التسرب من جزيئات الصهارة المحمولة جوا مثل الفشار، (٤) الاضطراب الداخلى، (٥) حرارة الهواء المختلط بالتدفق وهو يتحرك إلى الخارج ويهبط إلى أسفل. وتقدر الحرارة عند الفوهة بحوالى ١٢٢° مئوية (٢٢٠٠° ف)، وما زالت السحابة المتوهجة تزيد حرارتها عن ٧٠٠° م (١٣٠٠° ف) عندما ضربت سانت بيير. أما أثقل جزء وأخطره من السحابة المتوهجة فقد تدفق فى ريفيير بلانش (النهر الأبيض). وتمددت السحابات الرمادية - الغازية المصاحبة فى الاتساع حتى اجتاحت سانت بيير (الشكل ٧-٢٦).

فماذا حدث لسانت بيير؟ تحركت السحابة المتوهجة بسرعة الإعصار الرعدى الممطر حوالى ١٩٠ كم/ساعة (١١٥ ميلا فى الساعة)، ولكنها كانت أشد كثافة من الإعصار بما تحتوى من رماد. ورفعت السحابة المتوهجة السقوف وأطاحت بمعظم الحوائط العمودية على مسارها ولوت القضبان الحديدية وغلفت جذوع الأشجار بألواح المعادن التى هوت من السقوف. وفى ظرف دقيقتين تحولت سانت بيير من مدينة مدارية خضراء إلى أطلال مغطاة بطبقة سمكها قدم من الرماد الرمادى والرماد المشبع بالطين فوق الجدران وجذوع الأشجار التى ظلت قائمة.

وماذا قتل الناس؟ جاء الموت الخاطف من أحد الأسباب التالية: (١) الارتطام الطبيعي، (٢) استنشاق الغازات الفسفورية، (٣) الحرائق. وزاد عدد اللاجئين الفارين من سانت بيير عن ٣٠٠٠٠ نسمة ولم ينج منها إلا شخصان. كان أحدهما أوجاست سيباريس، وهو مجرم سفاح يبلغ عمره ٢٥ سنة؛ وكان مسجونا فى زنزانة بدون نوافذ وعلى بابه حاجز شبكى صغير. وعندما دخلت الغازات الساخنة فى زنزانته سقط على الأرض وعانى من حروق شديدة فى ظهره ورجليه. وبعد أربعة أيام تم إنقاذه، ثم أمضى بقية عمره يعرض البثور والحروق فى بدنه فى عروض جانبية فى السيرك على أنه سجين سانت بيير.

وهل كان آمنا من كان على متن زورق؟ كلا. إذ كانت السحابة الحارة الملتهبة مستمرة فى خطورتها حتى ضربت الماء. ولم ينج من ١٨ زورقا كانت فى الميناء إلا زورق بخارى بريطانى اسمه **رودام**، رغم أنه احترق بشدة ومات ثلثا أفراد طاقمه.

واستمرت السحابة المتوهجة تزحف خارج جبل بيليه. واجتيحت سانت بيير مرة ثانية فى يوم ٢٠ مايو ولكن لم يصبها أكثر مما حاق بها. وفى يوم ٣٠ أغسطس تدفقت السحابة المتوهجة نحو الجنوب الشرقى وأحرقت معظم مورن روج وأربع مدن أخرى، وقتلت ٢٠٠٠ شخص. ورغم هذا الحادث المأساوى فلا تزال المنطقة اليوم حافلة عن آخرها بالسكان من جديد.

الحمم الطينية

والحمم الطينية العالية اللزوجة يمكن أن تحدث خسائر كبيرة مثلما حدث فى فيزوف فى عام ٧٩ ميلادية وما قد يحدث مستقبلا فى منطقة سييتل - تاكوما. وأفظع الأحداث فى زمننا هذا ما حدث فى كولومبيا.

نيفادو ديل رويز فى كولومبيا فى ١٩٨٥ : تقع نيفادو ديل رويز على ارتفاع ٥٤٠٠ متر (أكثر من ١٧٧٠٠ قدم) حيث يصبح الهواء باردا. وعلى قمة الجبل منطقة مساحتها ١٩ كم^{2} مغطاة بقمة جليدية سمكها ١٠- ٣٠ مترا (٣٠- ١٠٠ قدم)

وحجم الجليد فيها حوالى ٣٣٧ مليون متر مكعب. وفى نوفمبر ١٩٨٤ استيقظ البركان بدرجة نشاط محدودة.

وبعد عام أى فى يوم ١٠ نوفمبر ١٩٨٥ أنبأت الهزات الأرضية المتناغمة (الزلازل) عن ثورة بركانية كبيرة قادمة. وفى الساعة ٩,٣٧ مساء ارتفع عامود بلاينى عدة أميال فى الفضاء. وبدأ حطام الصخور الفتاتية الحرارية الساخن يستقر فوق القمة الجليدية فأدى إلى إذابتها. وفى الساعة ١٠,٠٠ مساء ساهمت الأبخرة البركانية الكثيفة والجليد الذائب وحطام الصخور الفتاتية الحرارية مجتمعة فى تدفق الحمم الطينية على السفوح الشرقية حتى شينشينا مدمرة المنازل وقاتلة ١٨٠٠ شخص.

ولكن ما خفى كان أعظم. فبتزايد الثورة زاد ذوبان الجليد مما زاد من تدفق حمم طينية أكثر على الوديان الضيقة فى الغرب، فوق المراوح الطينية عند قاعدة الجبل وفى السهل الفيضى فى ريو ماجدالينا (الشكل ٧-٢٨). وفى الساعة ١١ مساء وصلت أول موجة من الحمم الطينية الباردة إلى مدينة آرميرو ذات التعداد ٢٧٠٠٠ نسمة. وتحركت هذه الحمم الطينية مسافة ٤٥ كم (٢٨ ميلا) من قمة الجبل وتساقطت من ارتفاع ٥٠٠٠ متر (أكثر من ١٦٤٠٠ قدم). وتحركت الحمم الطينية فى الوديان الضيقة ذات الجوانب الحادة الميول بسرعة حتى ٤٥ كم/ساعة (٢٨ ميلا فى الساعة)، وتباطأت سرعتها عند تدفقها فوق المراوح الطميية المنبسطة.

وبعد الساعة ١١ مساء ببضع دقائق أنذرت الضوضاء الصاخبة عن اقتراب موجات متتابعة من الحمم الطينية الحارة والباردة. ودُفِن معظم سكان آرميرو، ومنهم ٢٢٠٠٠ مواطن تحت الحمم الطينية ذات السمك ٨ أمتار (٢٦ قدما) (الشكل ٧-٢٩). وهؤلاء الضحايا ٢٢٠٠٠ إما أنهم راحوا ضحية اجتياح الحمم الطينية لهم أو ضحية الاختناق بالغازات.

ولكن نجا من الموت ٥٠٠٠ نسمة. فكيف كان ذلك؟ كانوا يركبون الارتفاعات العالية فوق المنحدرات. والجدير بالذكر أن أحد مشاهد الفيديو عرض رأسا لرجل يتكلم تبين أنه واقف على قمة أحد التدفقات الطينية بعد أن دهمته الحمم الطينية وغمرته حتى ذقنه وهو يحاول الهروب إلى أعلى المنحدر. ولو تباطأ خطوة واحدة لدفن تماما واختنق. ولكنه تخلص بأعجوبة ولم يصبه أذى.

كانت ثورة بركان نيفادا ديل رويز صغيرة فى الواقع. ولولا ذوبان القمة الجليدية لما حدثت أضرار. وكانت أحداث الحمم الطينية فى ١٩٨٥ تقريبا نمطا متكررا لأحداث فبراير ١٨٤٥. فنفس الأماكن دفنتها نفس الأنماط من الحمم الطينية. ففى ١٨٤٥ حصد الموت ١٠٠٠ نسمة؛ بينما حصد فى كولومبيا فى ١٩٨٥ حوالى ٢٤٠٠٠ نسمة بسبب نمو الكثافة السكانية فى المنطقة.

البقع الحارة

والبقع الحارة (النقط الساخنة)(*) هى كتل أو ريشات من صخر الوشاح الذى يرتفع ببطء ليكون براكين على سطح الأرض. وتزيد درجة حرارة الصخر الذى يرتفع عن الصخر المحيط به بحوالى ٣٠٠° مئوية (٥٧٠° ف) فى مركز الريشة وحوالى ١٠٠° مئوية (٢١٢° ف) على طول الحافة الخارجية لرأس الريشة. ولكن هذا الفارق فى درجات الحرارة يمكِّنه من تقليل اللزوجة بالقدر الكافى الذى يسمح بالبدء فى الارتفاع نحو السطح. ويمكن تصور معظم البقع الحارة على أنها ريشات ترتفع وتعمل لمدة حوالى ١٠٠ مليون سنة.

والنقط الحارة لا تتحرك بقدر ما تتحرك الألواح التكتونية، وتستخدم كنقاط إشارية تساعد على وضع خرائط لحركة الألواح (الشكل ٢-١٥). وتحدث تحت المحيطات، وتحت القارات (مثل يلوستون)، وفى وسط الألواح (مثل هاواى)؛ وكجزء من مراكز الانتشار (مثل آيسلاند). وفى السبعينيات من القرن العشرين أجريت دراسة حول البقع الحارة التى تكوِّن قبابا بركانية مرتفعة بأقطار تزيد عن ٢٠٠ كم (١٢٥ ميلا). وعددت الدراسة ١٢٢ بقعة حارة فى العشر ملايين سنة الأخيرة (الشكل ٧-٣٠)، و٥٣ بقعة حارة تحت أحواض المحيطات، و٦٩ تحت القارات.

(*) نقطة (بقعة) ساخنة hot spot منطقة انصهار محدودة فى الوشاح قرب قاعدة الليثوسفير. (**ما هى الجيولوجيا؟** - المترجم)

ويقع تحت اللوح الأفريقى أكبر عدد من البقع الحارة. وتباطأ انجراف أفريقيا بارتطامها بأوراسيا خلال ٣٠ مليون سنة الأخيرة. وربما عمل تباطؤ اللوح الأفريقى كغطاء حرارى يركز حرارة الوشاح تحته. وبالإيقاف الفعال لأفريقيا من إجراء حركات أفقية كبيرة تضاعفت حركة أمريكا الجنوبية غربا. وتحرك كذلك غربا مركز انتشار وسط المحيط الأطلنطى تاركا خلفه بعض البقع الحارة مثلما حدث فى تريستان دا كانها وسانت هيلانة (الشكل ٧-٣٠).

ويعنى وجود بقعة حارة تحت مركز انتشار، إمكان ثورة بركان أكبر من الصهارة البازلتية. فمثلا فى آيسلاند تتزايد صهارة نطاق الانسياب فى عملية الانتشار بفعل صهارة الوشاح الأعمق لتكوِّن قدرا هائلا من الصخور البازلتية. فريشة الوشاح تحت آيسلاند هى اليوم أشد البقع الحارة فى الأرض. وكونت الريشة المرتفعة قشرة أرضية تحت آيسلاند تزيد من ٤ حتى ٥ أضعاف عن السمك العادى.

البراكين فى البقع الحارة فى المحيطات

أكثر ما تعرف البراكين فى البقع الحارة فى المحيطات حيث تتزايد الكثافة السكانية، مثل هاواى.

هاواى. يبلغ قطر البقعة الحارة فى هاواى ٨٠ كم (٥٠ ميلا)، حسبما حددتها بؤر الزلازل على عمق ٦٠ كم (٣٧ ميلا). وعندما ترتفع الصهارة إلى السطح، تنز كذلك من الشقوق الأفقية والمائلة وتغذى البراكين فوق إقليم فسيح. وعموما تعتبر البراكين فى البقع الحارة بالمحيطات آمنة نسبيا وتعمل على جذب السياح لمشاهدة المناظر الطبيعية الخلابة. ولكن هناك شواذاً لهذه القاعدة.

الأحداث الفتاكة فى ١٧٩٠ : رغم أن أقل من ٠,٥٪ من صهارة هاواى تدفقت على شكل مواد صخرية فتاتية حرارية، فإن هناك أحداثًا فتاكة نادرة. ففى عام ١٧٩٠ توقفت الفرق المتحركة من جيش الملك كويا، وقُتِلَ عددٌ كبيرٌ من الناس بسبب انفجار بركان كيلويا. إذ كان الجيش يمر بالمنطقة ولكن الثورات البركانية أوقفته. وبعد انتظار

دام ثلاثة أيام انقسم إلى ثلاث فوق كل منها يتكون من ٨٠ فردا. وبينما الفرق تتحرك فى اتجاه الجنوب الغربى عبر ممر وعر فى كيلويا دهمتها الكارثة. فانفجر عامود إلى أعلى بموجة قاعدية تكتسح المحيط الخارجى على شكل سحابة كثيفة قاعدية. ويمكن للموجات القاعدية أن تنطلق بسرعة الإعصار الرعدى الممطر عندما تندفع كتل من الماء الحار والغازات المتعلقة بالأرض مصحوبة بشذرات من الصهارة أو بدونها. ولحقت الموجة القاعدية فى ١٧٩٠ بالفرقة الوسطى لجيش كويا فأردتهم جميعا قتلى. واحتشد الضحايا يمسك بعضهم بعضا ليقاوموا قوة انفجار الإعصار ولكن الغازات الحارة لفحت رئاتهم وأحرقت الحرارة الشديدة جلودهم. ودهمت الموجة القاعدية الفرقة القائدة ولكنها أنهكتها ونجا منها الكثيرون. أما فرقة المؤخرة فكانت بعيدة عن الانفجار ونجت من الموت والإصابة. وهذا الحدث التاريخى جدير بالتذكر بالنسبة لمشاهدى هذه الثورات فى هاواى اليوم – وعلى أقل تقدير عليهم الالتزام بالأراضى العالية أثناء مشاهداتهم للبراكين.

البراكين فى البقع الحارة فى القارات

ربما تذكرنا ثورة بركان كبير بجبل مرتفع تنبعث منه انفجارات قوية. ولكن ليست هذه الانفجارات أقواها. فالثورات الكبرى الحقيقية تنبعث منها صهارة تبلغ من الضخامة حدا يجعلها تترك ثقبا هائلا يفوق حجم الجبل هو كالديرا عملاقة. وفى الولايات المتحدة ثلاث كالديرات عملاقة نعرف أنها ثارت فى المليون سنة الأخيرة هى: كالديرا فيلز فى نيومكسيكو وعمرها حوالى مليون سنة؛ ولونج فالى فى كاليفورنيا وعمرها حوالى ٧٦٠٠٠٠ سنة؛ والمنتزه الوطنى فى بلوستون فى يومينج وعمرها حوالى ٦٠٠٠٠٠ سنة.

ومراكز الثورات الضخمة هذه تحدث عندما تتداخل كميات هائلة من الصهارة البازلتية من الوشاح إلى أعلى فى طبقة القشرة الأرضية التى تعلوها. وهنا تواجه الصخور القارية التى تنصهر فى درجات حرارة أقل. والخليط الناتج من الانصهار يكوِّن صهارة ذات حرارة أقل، ونسبة أعلى من ثانى أكسيد السيليكون SiO_2 ذى

اللزوجة العالية والكثافة الأقل. وتتجمع الصهارة اللزجة الطافية على شكل كتل كبيرة تحت السطح ببضع كيلو مترات.

المنتزه الوطنى فى يلوستون

كوّنت بقعة حارة فى الوشاح ريشة طويلة الأجل تنجرف عبرها قارة أمريكا الشمالية. وتشغل البقعة الحارة موقعا ثابتا نسبيا، بينما تتحرك قارة أمريكا الجنوبية نحو الجنوب الغربى فوقها بمعدل ٢-٤ سم/سنة. وسجلت حركة اللوح فوق البقعة الحارة خلال ١٥ مليون سنة الماضية بطابور من البراكين السطحية يمر عبر سهل نهر سنيك فى إيداهو ويستمر فى يومينج (الشكل ٧-٣١). ويقع المنتزه الوطنى بيلوستون حاليا فوق البقعة الحارة، كما يرقد تحت يلوستون بعمق ٥-١٠ كم (٣-٦ أميال) كتلة كبيرة من صهارة الريولايت.

وفى المليونى سنة الأخيرة حدثت ثلاث ثورات كارثية فى يلوستون منذ مليونى سنة ومنذ ١,٣ مليون سنة ومنذ ٦٠٠٠٠٠ سنة (الشكل ٧-٣١). وتلك الثورات الهائلة لا تستمر طويلا، بل تصب فى بضعة أسابيع قليلة كميات من صهارة الريولايت لا يمكن تصورها ويتدفق معظمها على هيئة صخور فتاتية حرارية. دفع أقدم حدث ٢٥٠٠ كم^{3} من الصهارة. ودفع أوسطها ٢٨٠ كم^{3} وأحدثها ١٠٠٠ كم^{3}. (قارن هذه الكميات من الصهارة بثورة جبل سانت هيلانة فى ١٩٨٠ التى بلغ مجموعها ١ كم^{3}). وثورة ١٠٠٠ كم^{3} من تدفقات صخور الريولايت الفتاتية الحرارية يمكن أن تغطى منطقة محيطة بالبركان مساحتها ٣٠٠٠٠ كم^{2} بكتلة من حطام الصخر الفتاتى الحرارى يتراوح سمكها من بضعة أمتار حتى أكثر دن ١٠٠ متر (الشكل ٧-٣٠). وهذا الوزن من المواد البركانية قد يؤدى إلى هبوط منطقة مساحتها ٥٠٠ كم^{2} لحفظ التوازن.

وكوّنت ثورة يلوستون الهائلة التى حدثت منذ ٦٠٠٠٠٠ سنة كالديرا عملاقة طولها ٧٥ كم (٤٧ ميلا) وعرضها ٤٥ كم (٢٨ ميلا). انظر ثانية إلى الشكل (٧-٣١)

وتأمل حجم الكالديرا العملاقة وامتداد تدفقاتها المندفعة من الصخور الفتاتية الحرارية – إذ قضت على جميع الكائنات الحية فى المنطقة ودفنتها بعمق فى ظرف أيام.

تسلسل الثورة : تمر ثورات هذه الكالديرات العملاقة بسلسلة خاصة (الشكل ٧–٣٢). إذ تبدأ بكتلة من صهارة الريولايت ترتفع عدة كيلومترات تحت سطح الأرض فتقوس سطح الأرض إلى أعلى (الشكل ٧–٣٢ أ). وتتجمع كتلة من الصهارة فوق قمتها غنية بالمكونات القليلة الكثافة مثل ثانى أكسيد السيليكون والغازات.

وبعد بضع مئات من آلاف السنين تبدأ ثورة هائلة بأعمدة بلاينى تنفث إلى أعلى من الشقوق الدائرية والبيضوية المحيطة بكتلة الصهارة (الشكل ٧–٣٢ ب). وتنحت الصهارة المتسربة الشقوق فتزيد من حجم قنوات التصريف وبذلك تزيد الصهارة المتسربة.

وعندما تشعر الأحجام الكبيرة من الغازات بتخفيف الضغط تبدأ الصهارة فى الطفح من الشقوق بأحجام خيالية (الشكل ٧–٣٢ جـ). وتصبح الصهارة كبيرة الحجم بحيث لا يقوى الهواء على حملها ولذلك يتدفق معظمها خارجا من قنوات التصريف على شكل تدفقات صخرية فتاتية حرارية، وهى أسرع طريق لإزالة الصهارة اللزجة المحملة بالغازات.

وعندما تتقلص كتل الصهارة تحت السطح، يهبط سطح الأرض كذلك، مكوِّنا كالديرا عملاقة (الشكل ٧–٣١ د). ويؤدى زوال ١٠٠٠ كم٣ من الصهارة إلى إيجاد فجوة لحفظ التوازن تملؤها كتل جديدة من الصهارة المرتفعة التى تقوس قاع الكالديرا لتكوِّن قبابا تستعيد نشاطها (الشكل ٧–٣١). ويمكن النظر إلى القباب التى استعادت نشاطها على أنها عملية إعادة التحمل تبدأ فيها الصهارة فى التجمع فى اتجاه الكتلة الحرجة التى تحفز الثورة التالية.

والمناطق الممتدة على طول القباب التى استعادت نشاطها عادة تشغلها البحيرات (الشكل ٧–٣١). تصور أنك تقود سيارتك فى مسافة عدة أميال بين بحيرة يلوستون وفوارة أولد فيثفول، فطوال هذا الوقت تظل داخل الكالديرا العملاقة المنهارة التى ثارت منذ ٦٠٠٠٠٠ سنة. فمتى تحدث الثورة العملاقة القادمة؟

ثورات بركانية عملاقة داخل الألواح

لونج ڤالى فى كاليفورنيا

يوجد فى لونج ڤالى - منطقة البحيرات فوق العملاقة فى كاليفورنيا كثير من صخور القشرة الأرضية المنصهرة، رغم عدم وجود بقع حارة نمطية هناك. ومنذ حوالى ٧٦٠٠٠٠ سنة اندلعت ثورة هائلة قذفت ١٥٠ ميلا مكعبا من الصهارة التى كوَّنت تدفقات صخرية فتاتية حرارية غطت منطقة شرقى وسط كاليفورنيا بأكثر من ١٥٠٠ كم٢ من حطام الصخور الفتاتية الحرارية (المسمى بيشوب طف)(*) بسمك مئات الأمتار. وفور انفجار الصهارة يهبط سطح الأرض حوالى ٢ كم (أكثر من ميل واحد) فى الفجوة ليشكل كالديرا لونج ڤالى (الشكل ٧-٣٣ ، و٧-٣٤). وتدفَّق قسم من الصخور الفتاتية الحرارية لمسافة ٦٥ كم (٤٠ ميلا) فى وادى أوينز. وقبل الثورة قدرت كتلة الصهارة ليكون نصف قطرها ١٩ كم (١٢ ميلا) وسقفها تحت السطح بمقدار ٥ كم (٣ أميال) (الشكل ٧-٣٥).

واليوم يقدر نصف قطر كتلة الصهارة ١٠ كم (٦ أميال) وعمق ٨ كم (٥ أميال). وفى الثمانينيات من القرن العشرين ثار اهتمام كبير عندما تكررت الزلازل بشكل توافقى بحيث أحدثت أربعة منها قوتها ٦ بعض الخسائر. والواضح أن الصهارة كانت ترتفع. وفى عام ١٩٨٠ بلغ عمق الصهارة ٨ كم ولكن بحلول ١٩٨٢ ارتفع بعضها خلال ٣ كم من السطح. فهل كان هذا نذيرا بثورة كبيرة؟ وضعت علامات تحذير رسمية ولكن الصهارة توقفت عن الارتفاع وهدأ الفزع. ونادرا ما تحدث الثورات العملاقة ولكن هذه البقع الحارة القارية تكررت ثوراتها الصغيرة إلى حد ما. وحدثت فى لونج ڤالى ثورات منذ ٦٠٠ عاما، وفى بحيرة مونو منذ ١٥٠-٢٥٠ عاما فقط.

(*) طف tuff (١) صخر ينشأ من تماسك الرماد البركانى. (**ما هى الجيولوجيا؟**- المترجم)

(٢) صخر تقذف به البراكين فيتصلب حولها ويتكون من حبيبات بركانية متماسكة يقل قطرها فى العادة عن ٤ مليمترات. (**معجم الجيولوجيا**- المترجم)

وفى مطلع التسعينيات من القرن العشرين بدأت تموت الأشجار فوق جبل ماموث بعد أن ارتفعت كميات كبيرة من ثانى أكسيد الكربون CO_2 من الصهارة التى تحتها فقتلتها. وفى الوقت ذاته استأنفت الزلازل الصغيرة نشاطها وبدأ سطح الأرض فى الارتفاع. وهذه الظواهر يمكن أن تحدث لعدة عقود أو قرون؛ وعلى أية حال، ففى الكالديرات الكبيرة لا يعنى ذلك دائما أن الثورة محدقة.

ولكى تمعن النظر فى الكالديرا العملاقة فى لونج ڤالى عليك أن تلتفت إلى اليسار وأنت راكب المصعد الجبلى فى منتجع الانزلاق على الجليد فى جبل ماموث. فالوادى الجاف الكبير هو الكالديرا (الشكل ٧-٣٤).

المراقبة والإنذار بالبراكين

هل نستطيع مراقبة نشاط البركان وتقديم إنذار مبكر قبل ثورته الكبيرة؟ حدثت قصة نجاح عظيمة فى الفيلبين فى عام ١٩٩١ قبل ثورة الذروة فى بركان جبل بيناتيوبو فى يوم ١٥ يونيو ١٩٩١. كانت ثورة هذا البركان أكبر ثورة حدثت فى القرن العشرين بالقرب من منطقة مكتظة بالسكان. ويعيش فى دائرة الخطر حوالى مليون نسمة منهم ٢٠٠٠٠ من العسكريين الأمريكيين وعائلاتهم.

ففى مارس ١٩٩١ استيقظ بركان جبل بيناتيوبو من نوم دام ٥٠٠ عام، عندما ارتفعت الصهارة من عمق ٣٢ كم (٢٠ ميلا) فتسببت فى حدوث آلاف من الزلازل الصغيرة ومكونة ثلاث فوهات صغيرة يتصاعد منها البخار وقاذفة آلافا من أطنان الغازات الغنية بثاني أكسيد الكبريت. وبدأ علماء البراكين والزلازل الأمريكيين والفيلبينيين برنامجا للمراقبة الدقيقة لتقدير حجم وتاريخ الثورة الكبرى المرتقبة. وفى يوم ٧ يونية بلغت الصهارة السطح، ولكنها كانت فقدت معظم غازاتها (مثل زجاجة الصودا فى المشروبات الغازية) ولهذا نزَّت الصهارة ببساطة إلى الخارج لتكوِّن قبة من الحمم (المثال القديم فى الشكل ٧-١٧). وفى يوم ١٢ يونية (يوم استقلال الفيلبين) وصلت إلى السطح ملايين الأمتار المكعبة من الصهارة المشبعة بالغاز محدثة ثورات

انفجارية عنيفة. وكان الوقت متيسرا للخروج من مدى القتل للبركان! وانتشرت بسرعة وبأعلى صوت طلب الإسراع فى إجلاء الناس من المنطقة. وأخلا الناس جميعا تقريبا وممتلكاتهم الثمينة المنطقة بسرعة. وفى يوم ١٥ يونية بدأت الثورة الجامحة (الشكل ٧-٣٦). إذ قذفت أكثر من ٥ كم٣ (١ ميل مكعب) من الصهارة والصخور إلى ارتفاع ٣٥ كم (٢٢ ميلا) فى الغلاف الجوى مكونة سحابة من الرماد وتزايدت حتى بلغ قطرها ٣٠٠ ميل أو يزيد. وحجب الرماد المحمول جوًا أشعة الشمس وأحال النهار إلى ليل. وفاضت طفوح التدفقات الصخرية الفتاتية الحرارية والرماد الحار والزجاج الخفاف والغازات على جوانب البركان (الشكل ٦-٢٣)، وملأت الوديان حتى عمق ٢٠٠ متر (٦٦٠ قدما). وعندئذ شاء الحظ أن يأتى إعصار رعدى ممطر (طيفون) فيجرف كميات هائلة من حطام البركان عن منحدره على شكل حمم طينية (لاهار) (الشكل ٦- ٢٥).

فكم كان الإنذار المبكر ناجحا؟ ورغم وفاة ٣٠٠ شخص فكان مقدرا وفاة ٢٠٠٠٠ شخص لو لم تبلَّغ الإنذارات الفورية. وتشير بطاقة الإحصاء فى برنامج المراقبة من مارس حتى يونية ١٩٩١. أن نفقات قدرها ١,٥ مليون دولار أنقذت أرواح ٢٠٠٠٠ نسمة، وأن ٥٠٠ مليون دولار كانت نفقات إخلاء الممتلكات بما فيها الطائرات. ويا له من نجاح عظيم وتكلفة فعالة.

موجز

تعتبر مراكز الانتشار مواقع مثالية لثورة البراكين، بحيث تصل نسبة الصهارة التى تقذف منها ٨٠٪ من المجموع الكلى للصهارة. وتقع مراكز الانتشار فوق نطاق الانسياب (أستينوسفير)، الذى يخرج الصهارة البازلتية التى ترتفع لتملأ الشقوق بين الألواح المتباعدة. وربما تستغل البراكين البازلتية بنجاح فى كل من مراكز الانتشار، مثل آيسلاند، والبقع الحارة فى المحيطات مثل هاواى.

وتضم ثورات مناطق الانضواء صهارة بازلتية تشوبها صخور قشرية وتنتج عنها صهارة عالية اللزوجة تحتوى على غازات حبيسة. وتحفل الأنباء بالثورات الانفجارية

(مثل سانت هيلانة وأنزين وبيناتيوبو)، كما تسجلها كتب التاريخ (مثل سانتوريني وفيزوف وكراكاتاو). وليست في الصدوع التحويلية براكين متعلقة بها إلا قليلا.

وتسبب العديد من ثورات البراكين القارية قتل الأرواح وتدمير الممتلكات. ويتدفق حطام الصخور الفتاتية الحرارية والماء على المنحدرات على هيئة حمم طينية بسرعة تصل إلى ٣٠ ميلا في الساعة ولمسافات حتى ٤٥ ميلا تاركة رواسب يبلغ سمكها حتى ١٠٠ قدم مثل جبل رينيير.

ويمكن لتدفقات الصخور الفتاتية الحرارية المشبعة بالغازات أن تفيض بسرعة حتى ١٥٠ ميلا في الساعة وبحرارة تصل إلى ١,٣٠٠° ف ولمسافات تزيد عن ٣٠ ميلا، مثل جبل بيليه. وقد تنهار المخروطات البركانية وتتباعد حتى ٣٠ ميلا مثل جبل شاستا. وتستطيع الثورات العملاقة في الكالديرات القارية أن تدفع صهارة أكثر ١٠٠٠ مرة من البركان النمطي مثل يلوستون ولونج ڤالي.

وربما ظل البركان نشيطا لملايين السنين. ولكن تمر فترات تقدر بالقرون بين ثوراته الفردية. والمقياس الزمني للبركان النشيط يجب أن يدرسه كل الناس الذين يعيشون بالقرب منه.

ومن الممكن مراقبة البركان وإعطاء إنذار مبكر للتحذير من الثورات الكبرى. ففي بركان جبل بيناتيوبو في الفيلبين أنقذ الإنذار المبكر أرواح ٢٠٠٠٠ نسمة.

مصطلحات للمذاكرة

مروحة طميية	alluvial fan
موجة قاعدية	base surge
أخدود منهار	failed rift
فيضان جليدي	jokulhlaup
قبة الحمم	lava dome

سحابة متوهجة	nuée ardente
قبة منبعثة حديثا	resurgent dome

أسئلة للمراجعة

١ – ما هو عدد سنوات نشاط نطاق الانضواء؟ البركان؟ وكم عدد السنين التى تمر بين ثورات بركان نشيط؟

٢ – ارسم خريطة للوح تكتونى مثالى وقدِّر المخاطر البركانية التى تنشأ على طول كل نمط من حواف اللوح.

٣ – اشرح لماذا تكون آمنا نسبيا عندما تشاهد بركانا يثور فى هاواى بينما تتعرض للمخاطر عندما تشاهد بركانا يثور فى سلسلة جبال كاسكيد؟

٤ – ارسم خريطة للوح تكتونى واشرح أصل براكين سلسلة جبال كاسكيد.

٥ – ارسم سلسلة من القطاعات المقطعية واشرح تسلسل الأحداث فى ثورة بركان جبل سانت هيلانة فى عام ١٩٨٠.

٦ – ارسم قطاعا مقطعيا واشرح كيف تتكون الحمم الطينية (لاهار) وكيف تتحرك. وكيف تقتل البشر؟

٧ – لماذا تتحرك تدفقات الصخور الفتاتية الحرارية بهذه السرعة؟ وكيف تقتل الناس؟

٨ – اشرح خاصية الثورة فى بركان تغذيه البقع الحارة فى القارة.

٩ – ارسم قطاعا مقطعيا واشرح تسلسل الأحداث فى إحدى البحيرات الفتاكة فى أفريقيا مثل نيوس.

١٠– ارسم قطاعا مقطعيا واشرح كيف يتكون الفيضان الجليدى؟

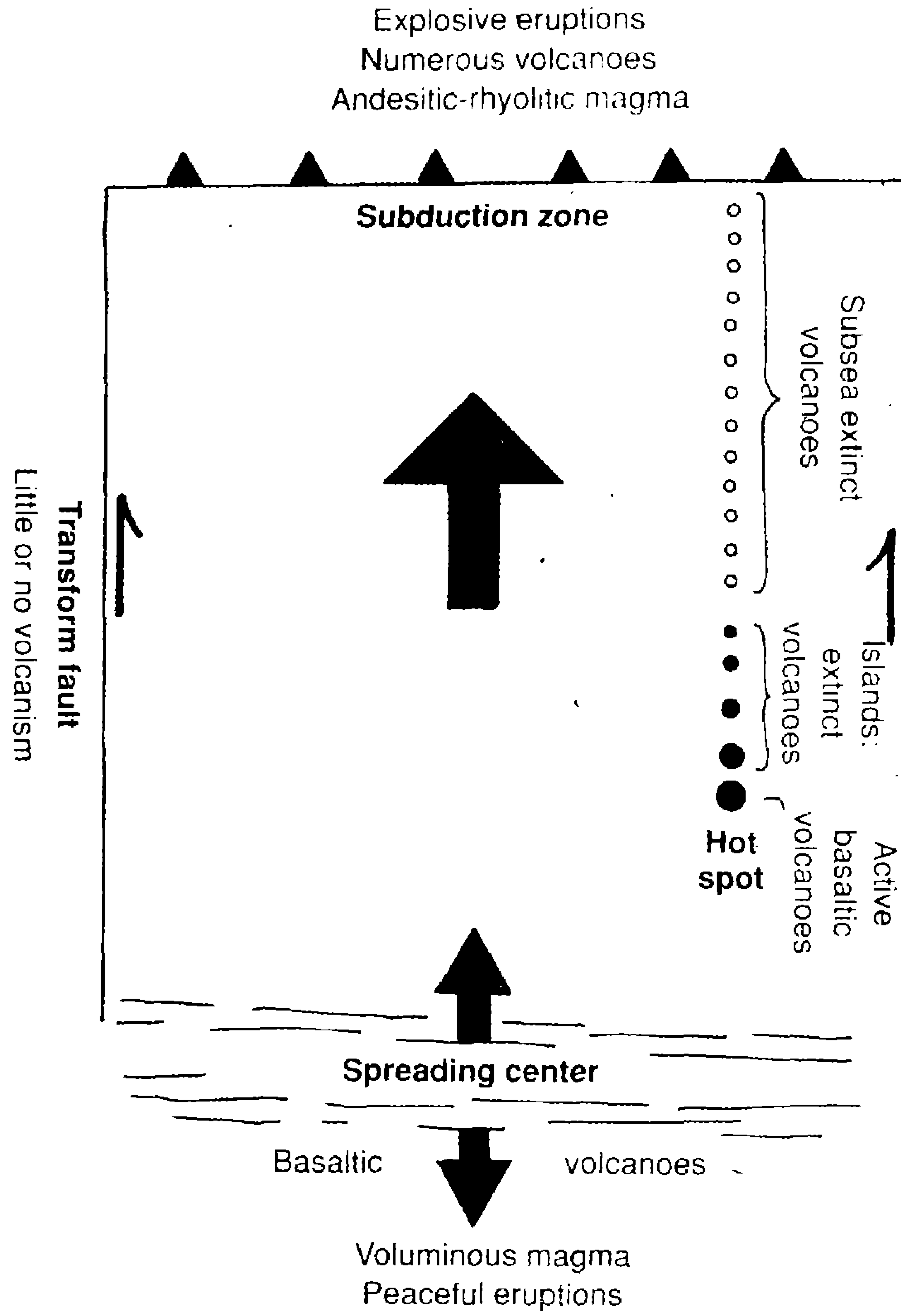
أسئلة لمزيد من التأمل

١ - هل يحتمل أن يثور بركان سلسلة جبال كاسكيد ثورة كبيرة فى أثناء حياتك؟

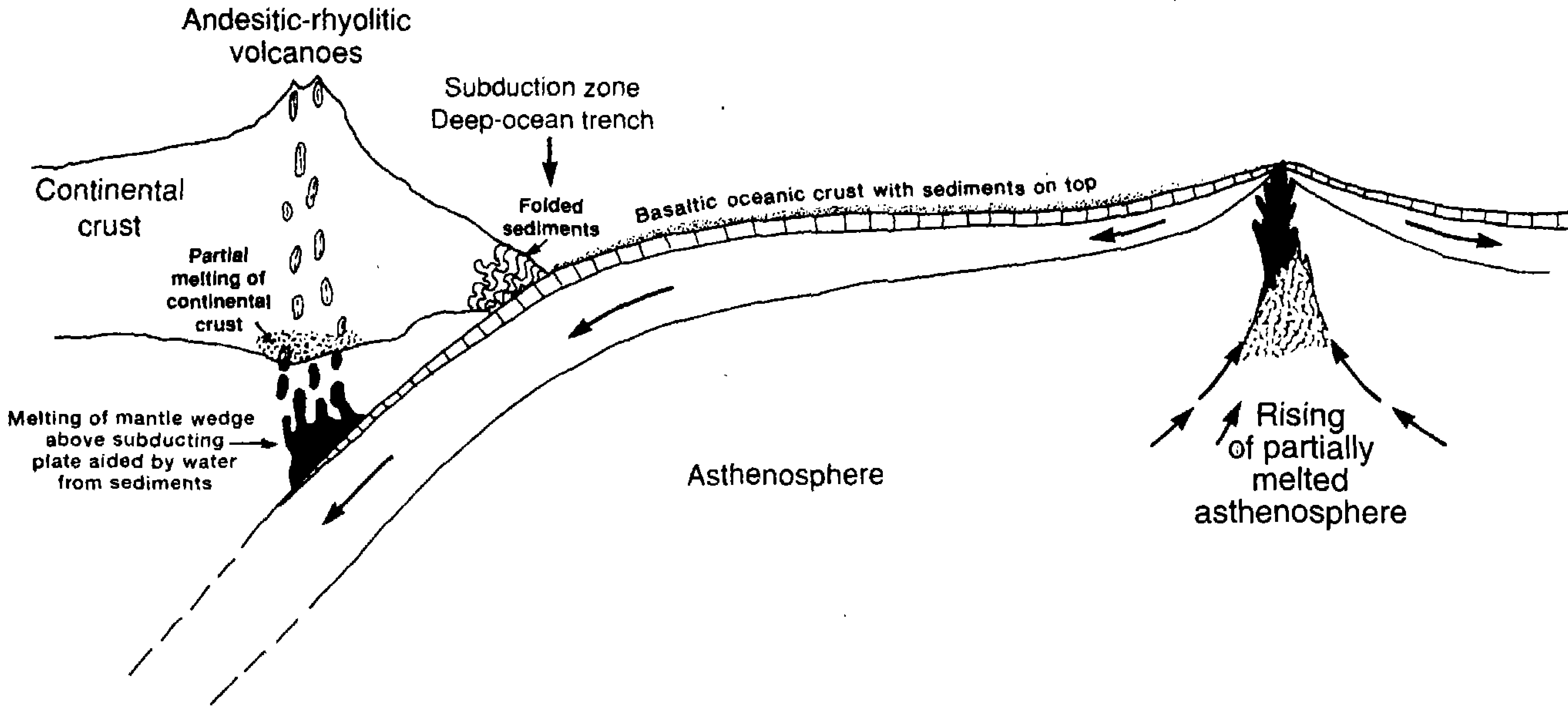
٢ - هل من الحكمة أن يزداد نمو المدن بالقرب من جبل شاستا؟ وماذا يمكن عمله فى هذا الموقف؟

٣ - هل من الحكمة البناء فى أودية الأنهار تحت جبل رينيير، حتى على بعد عدة أميال؟

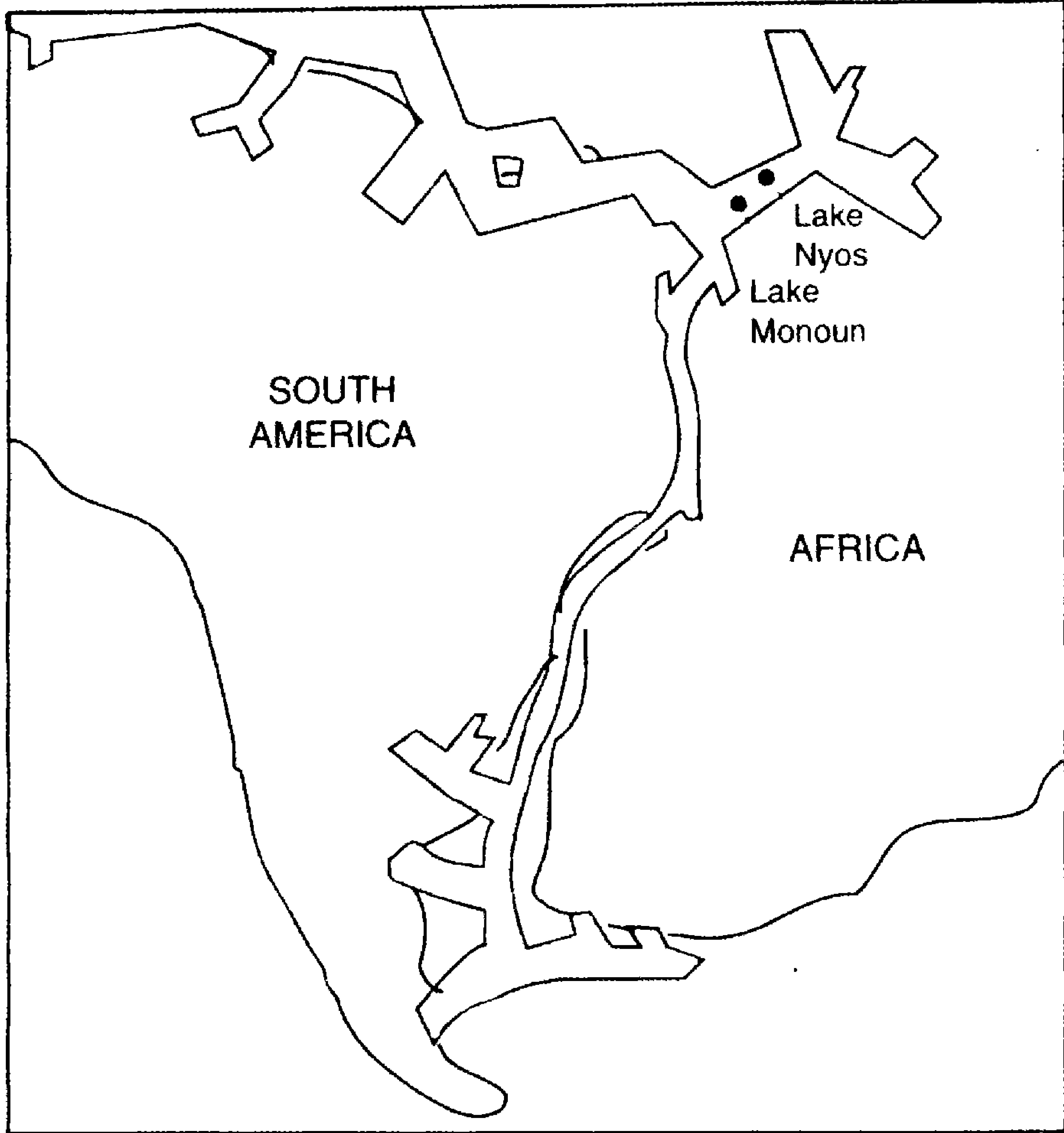
أشكال الفصل السابع



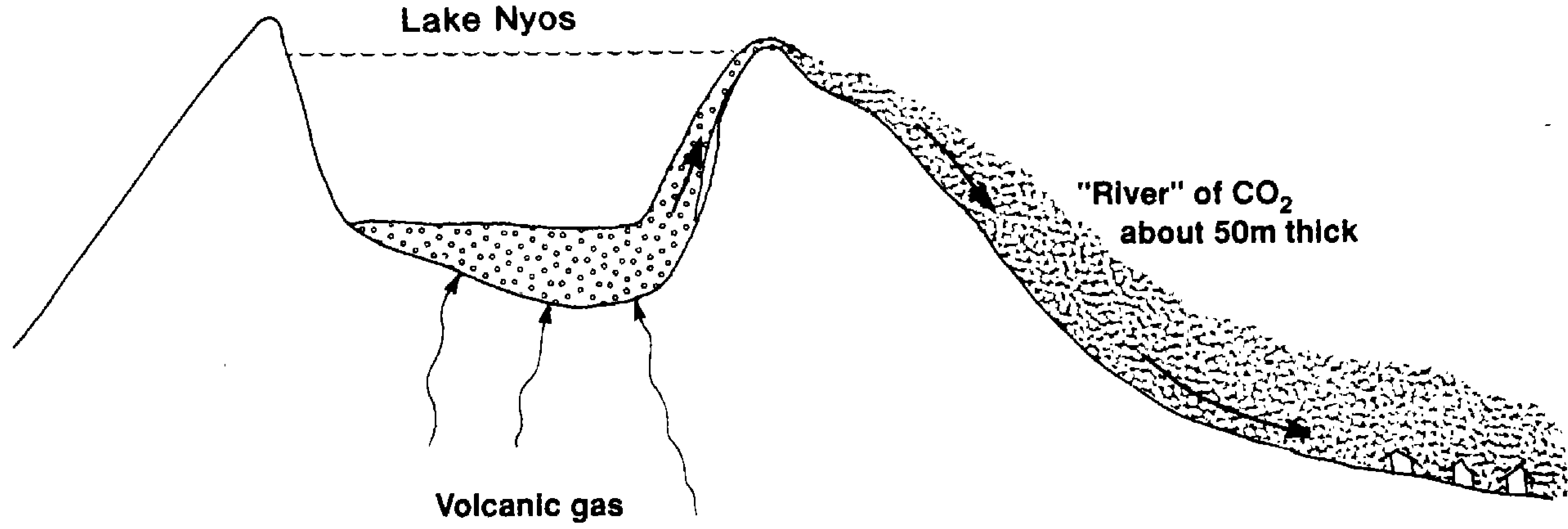
الشكل (٧-١) لوح محيطى مثالى يوضح أنماط البراكين.



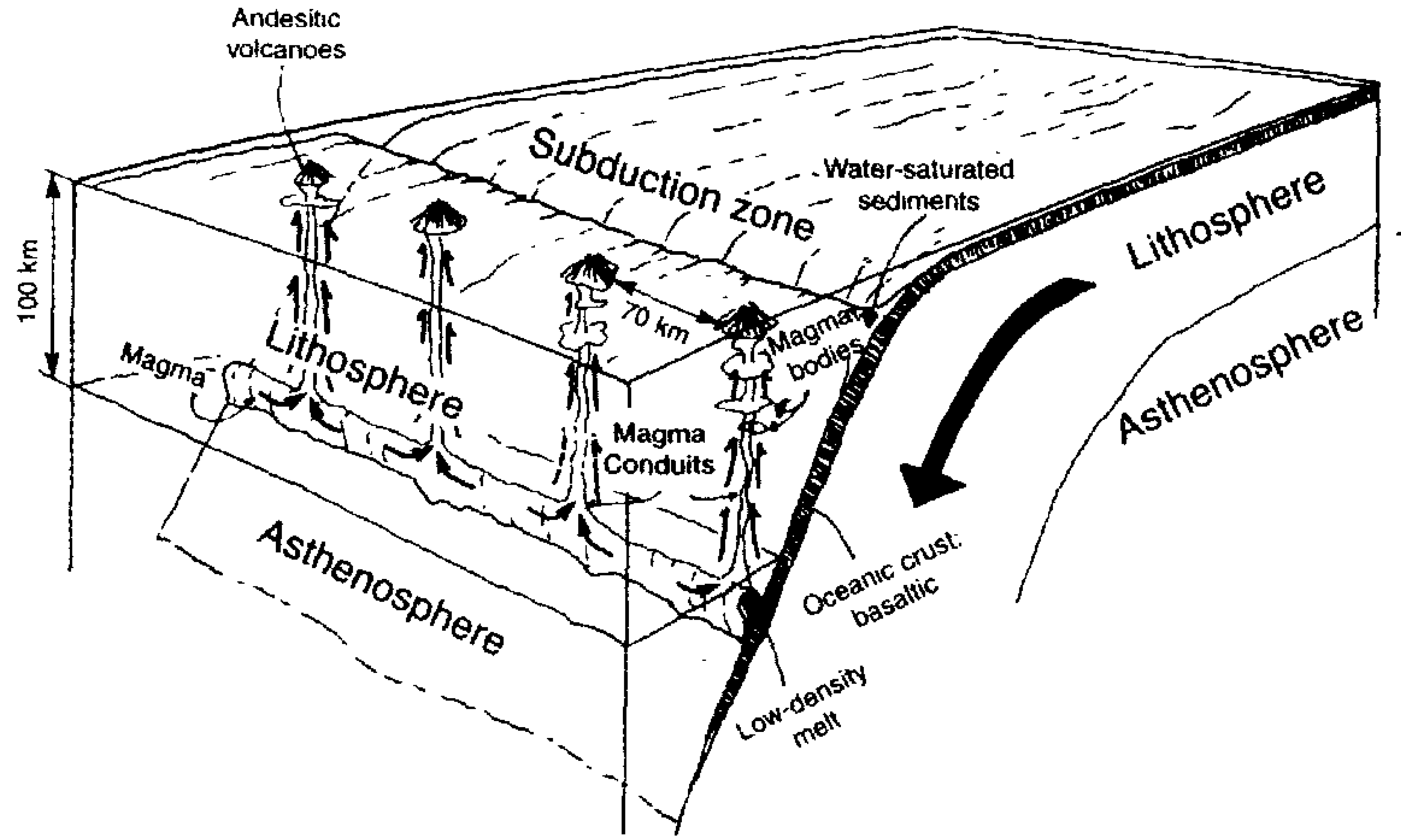
الشكل (٧-٢) قطاع مقطعي مثالي يوضح إنتاج الصهارة البازلتية في مراكز الانتشار. فالأمواج تتباعد وتنصهر بعض المواد في نطاق الانسياب (أستينوسفير) وترتفع حتى تملأ الثغرة. وتتكوّن صهارات الآنديسايت - والريولايت فوق نطاق الانضواء حيث تصهر الصهارة المرتفعة جزئيا القشرة القارية وهي في طريقها إلى أعلى؛ وبهذا تغير المواد المنصهرة بزيادة محتواها من ثاني أكسيد السيليكون واللزوجة.



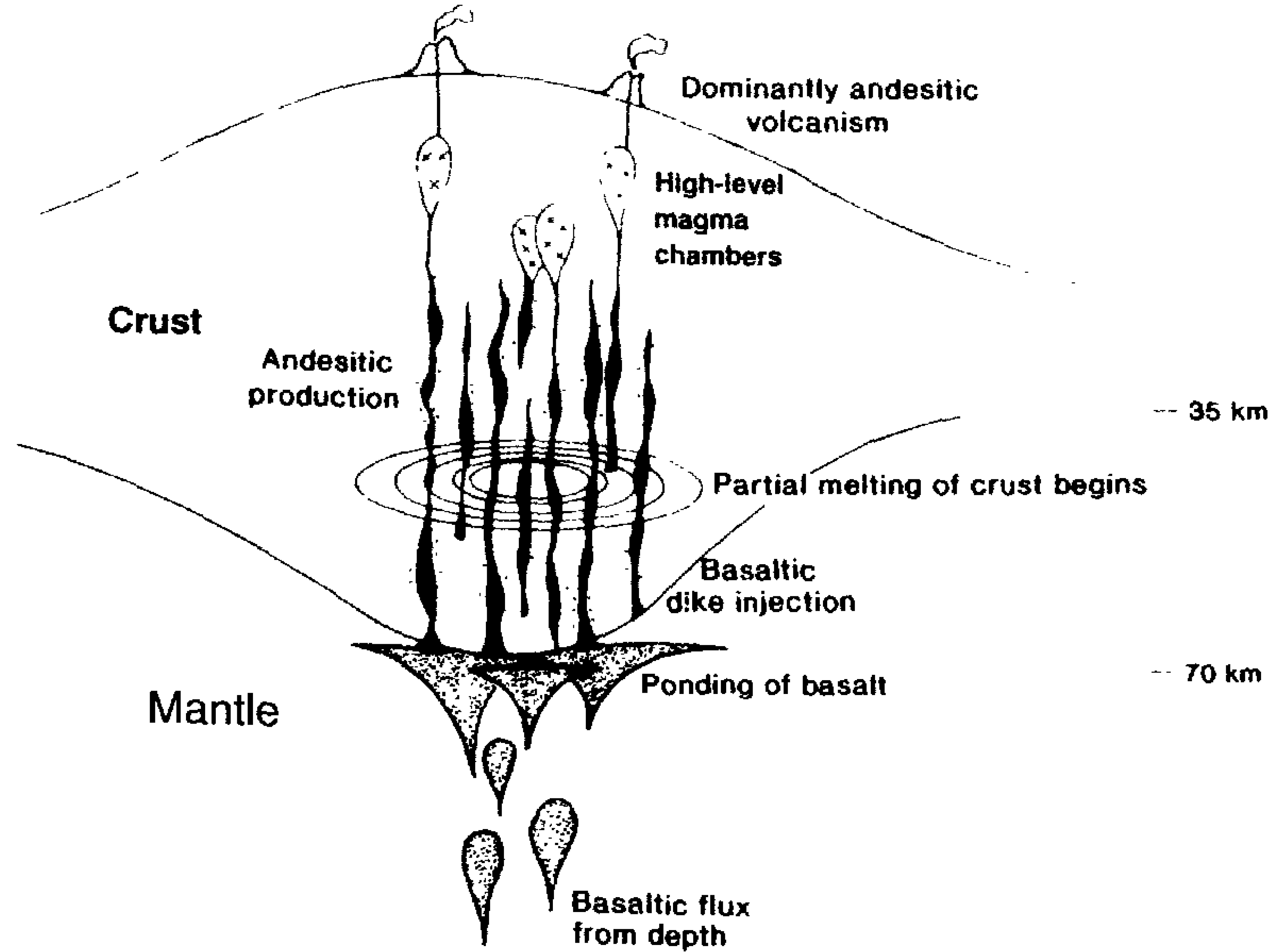
الشكل (٧-٣) خريطة تخطيطية لأفريقيا وأمريكا الجنوبية وهما تتباعدان منذ ١٣٥ مليون سنة. لاحظ الأخدود الثالث الذى يمتد فى أفريقيا.



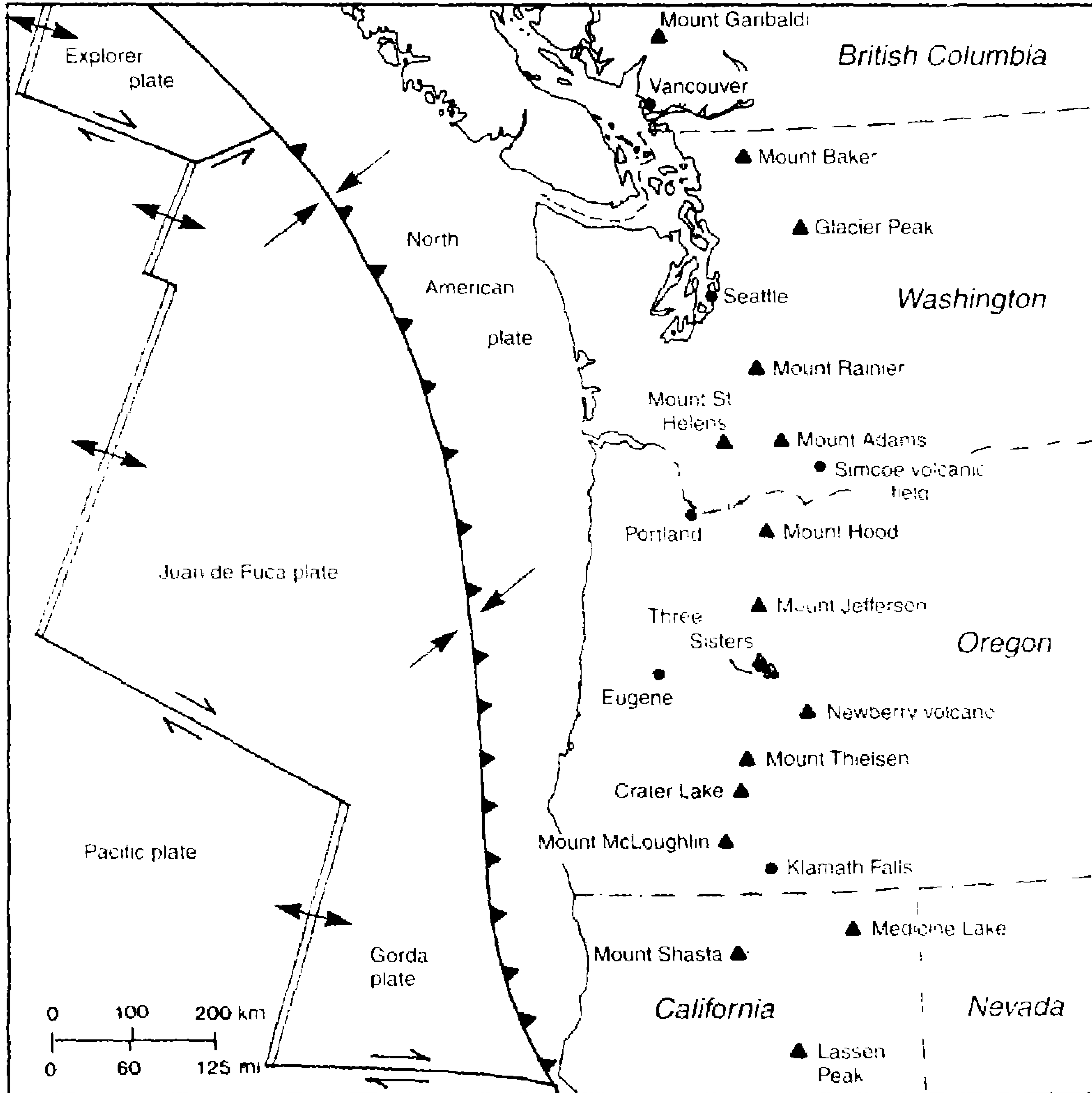
الشكل (٧-٤) رسم قطاع مقطعى تخطيطى لبحيرة نيوس. امتصت طبقة الماء العميقة الغازات البركانية. وفى عام ١٩٨٦ عندما اضطرب ماء القاع تدفق ١,٢ كم^{٣} من غاز ثانى أكسيد الكربون فى أودية النهر لمدة ساعة فى سحابة سمكها ٥٠ مترا. وقتلت جميع الكائنات الحية تقريبا ولكن النباتات لم تتأثر.



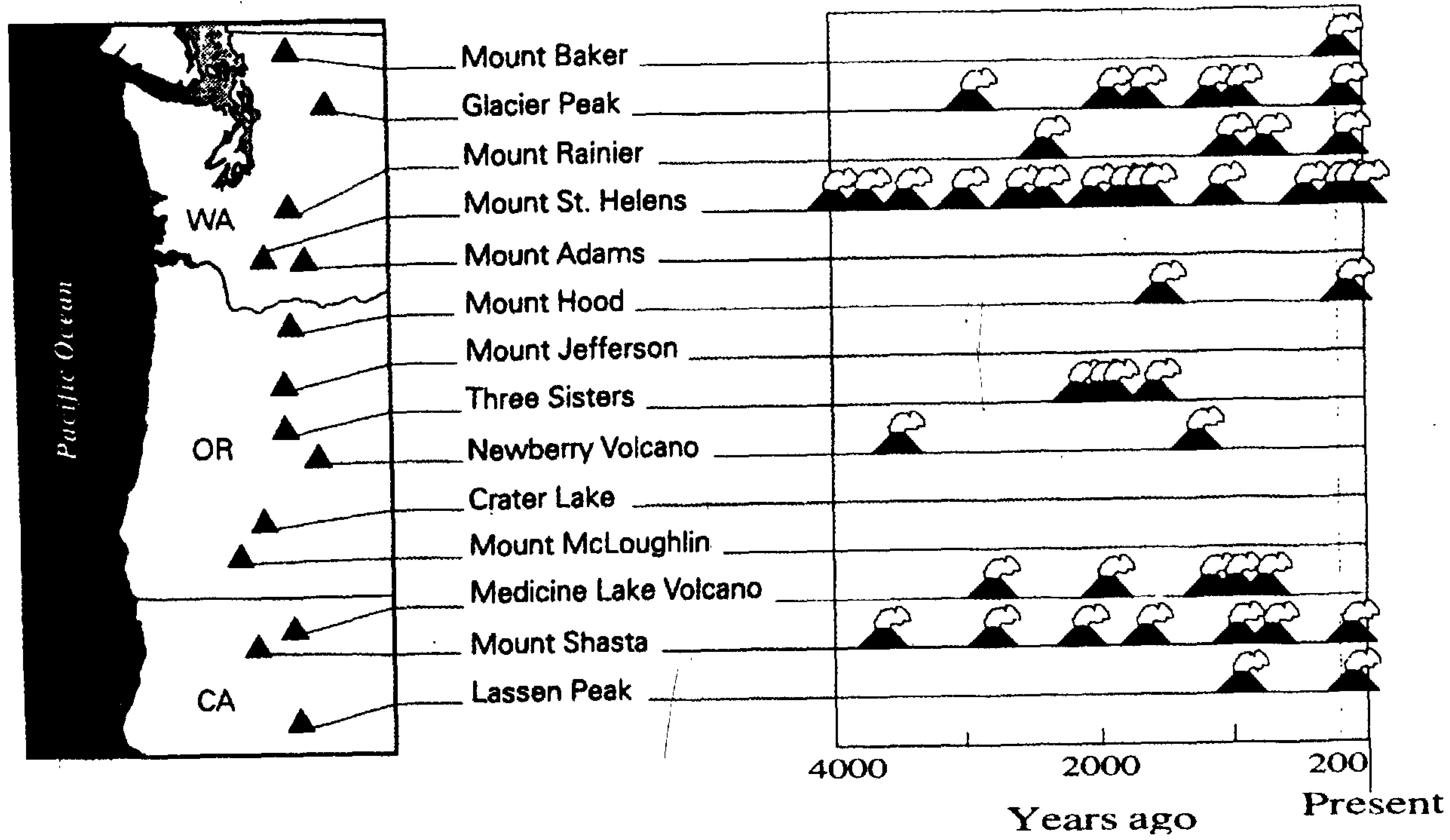
الشكل (٧-٥) رسم تكعيبى للوح محيطى منضوى يحمل رواسب مشبعة بالماء. ويحدث الانصهار على عمق حوالى ١٠٠ كم (٦٠ ميلا) تحت السطح. وترتفع الصهارة ببطء؛ ويتجمع بعضها فى خزانات تحت السطح، بينما يثور البعض الآخر فوق السطح.



الشكل (٧-٦) قطاع مقطعى تخطيطى للصهارة وهى ترتفع من نطاق الانضواء وقد تلوثت وهى فى طريقها إلى أعلى.



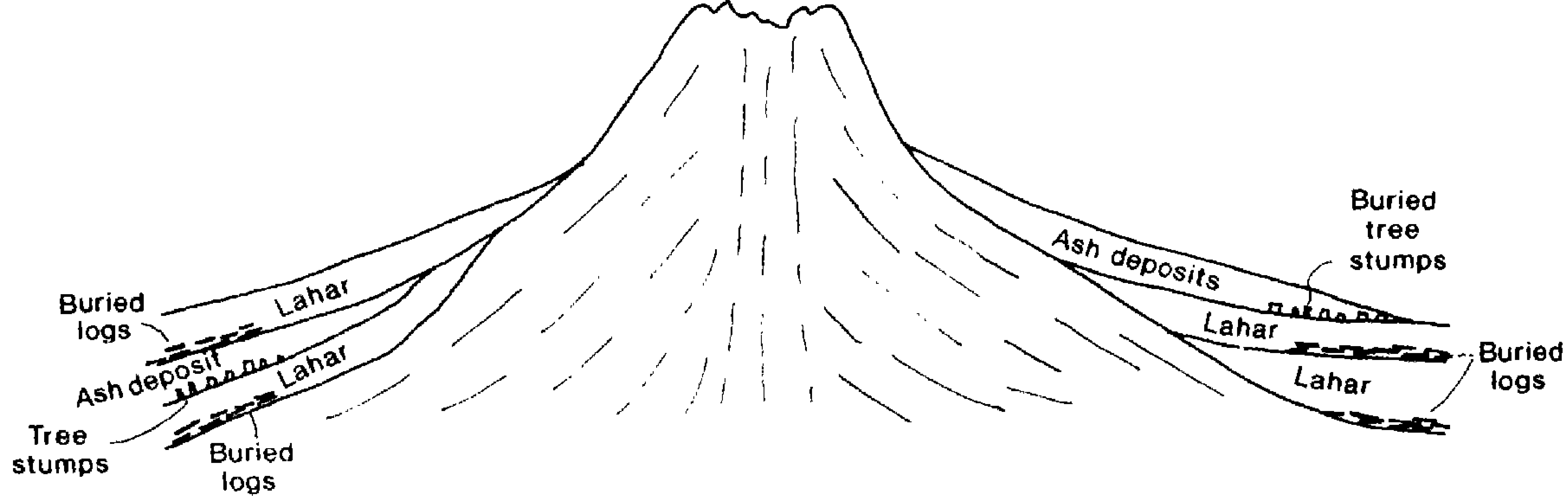
الشكل (٧-٧) خريطة الألواح التكتونية لبراكين سلسلة جبال كاسكيد. وتتوازى البراكين تقريبا مع نطاق الانضواء كما تتساوى مسافاتها البينية تقريبا.



الشكل (٧-٨) تواريخ ثورات براكين سلسلة جبال كاسكيد.



الشكل (٧-٩) تشير الأشجار الساقطة إلى اتجاه سير الانفجار البركاني في جبل سانت هيلانة في ١٨ مايو ١٩٨٠.



الشكل (٧-١٠) قطاع مقطعى تخطيطى لأحد البراكين وبعض رواسبه. وتدل تواريخ الكربون المشع فى الأخشاب المدفونة على تواريخ موت هذه الأشجار، أى وقت حدوث البركان.

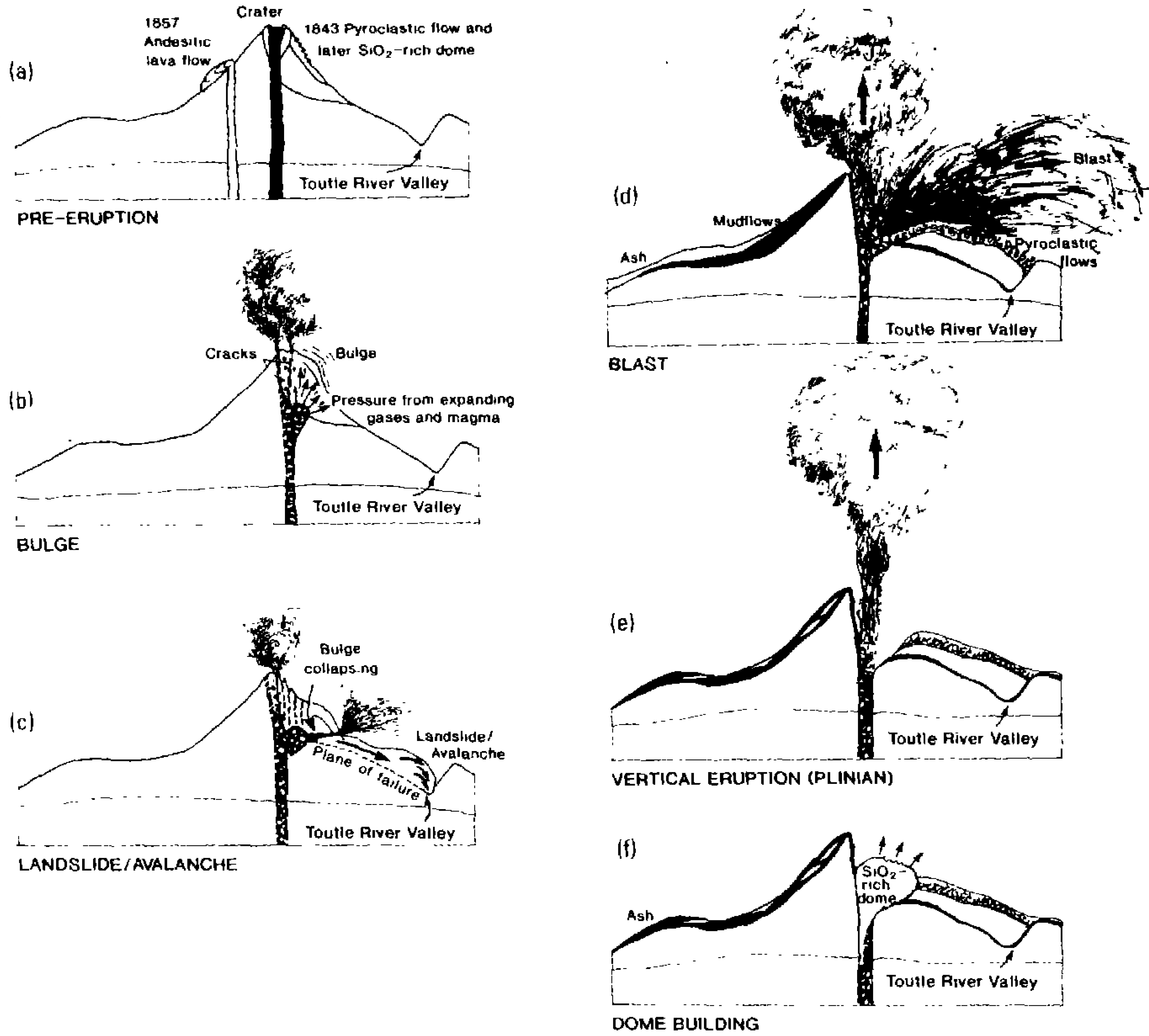


(أ)

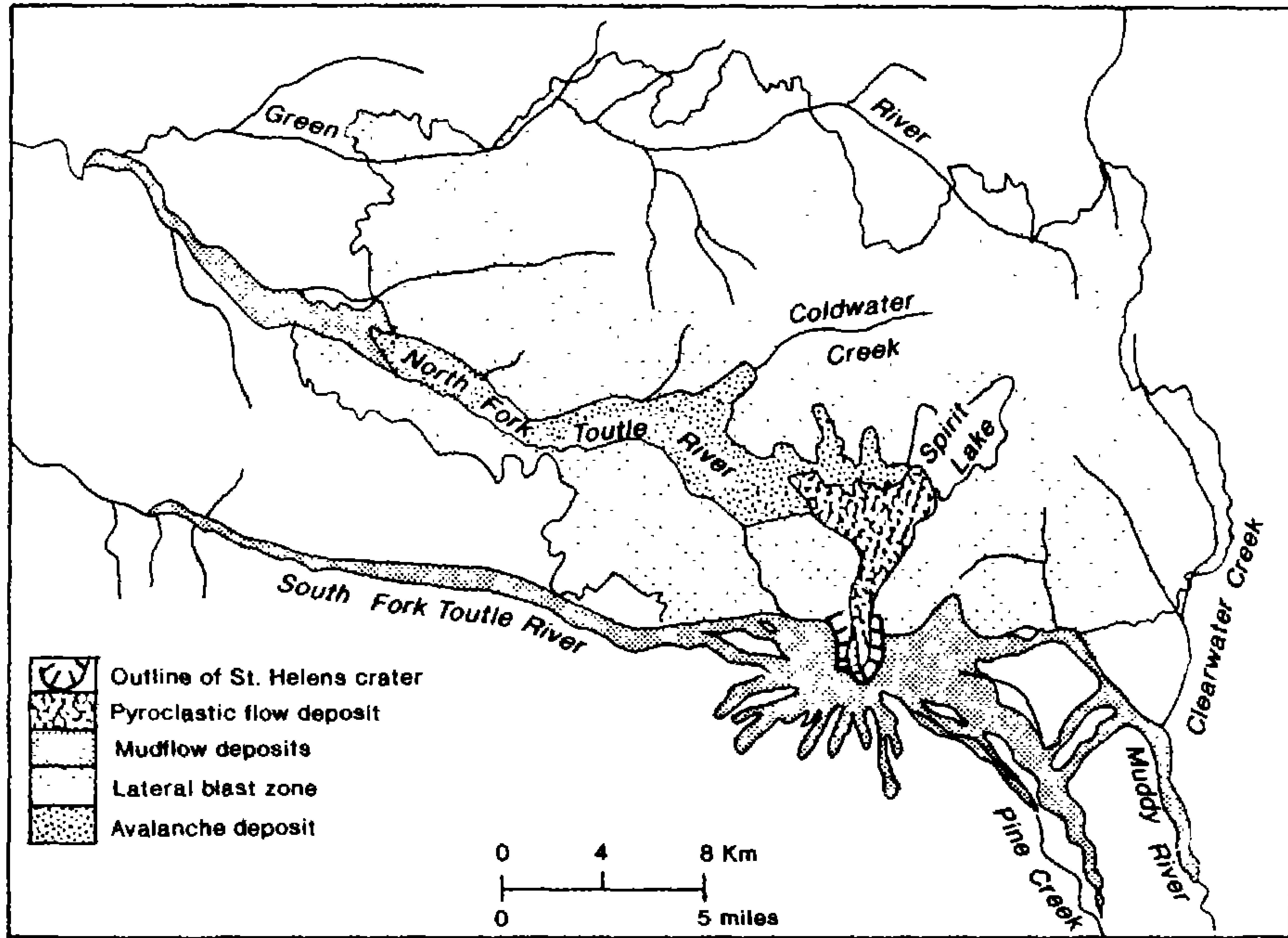


(ب)

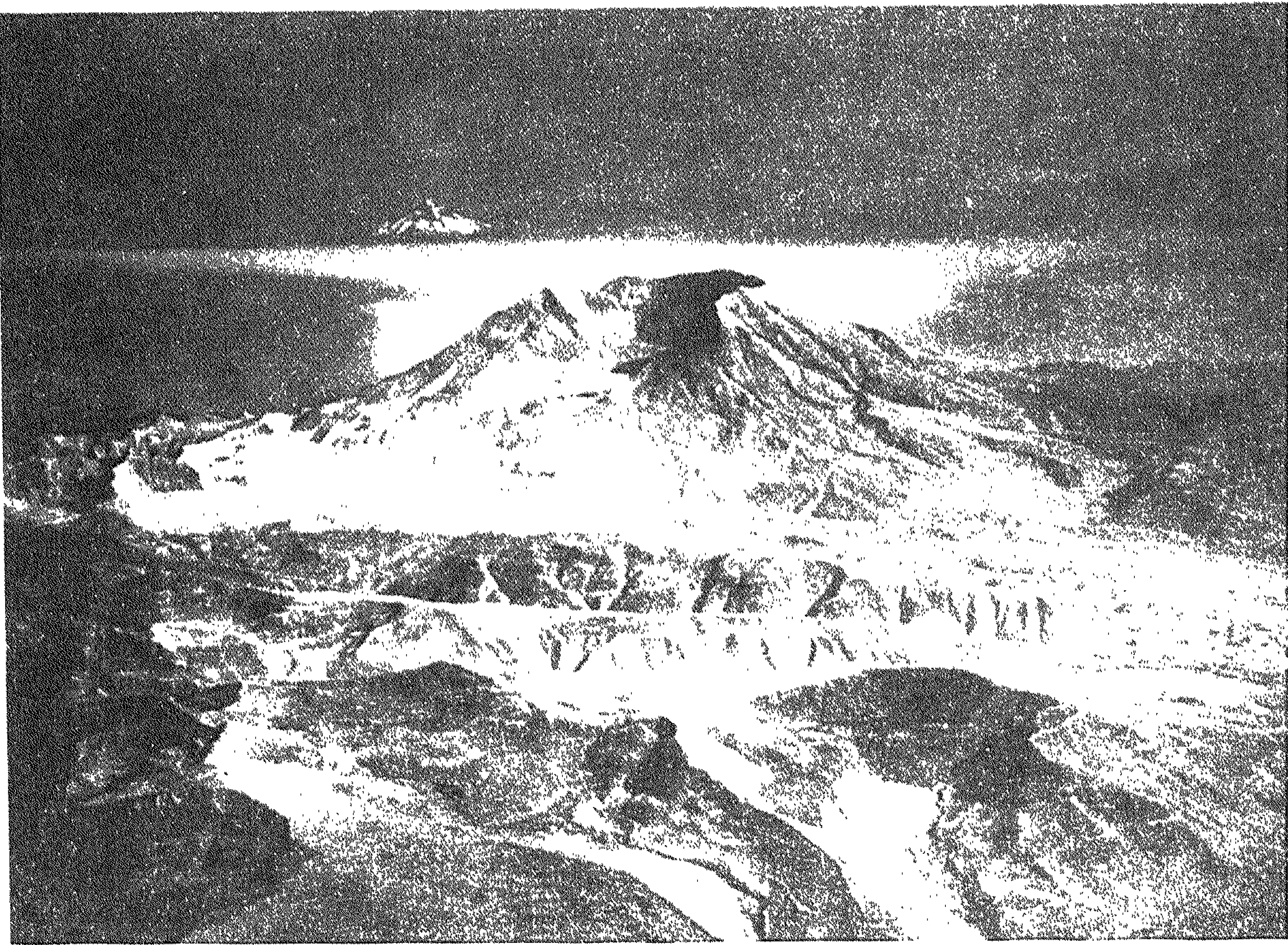
الشكل (٧-١١) بركان جبل سانت هيلانة. (أ) **قبل:** منظر فى الشمال الشرقى للمخروط الجميل لجبل سانت هيلانة فى يوم ٢٥ أغسطس ١٩٧٤. ويقع جبل رينيير فى أعلى يسار الصورة. (ب) **بعد:** المنظر نفسه فى يوم ٢٤ أغسطس ١٩٨٠ بعد أن أطاح البركان بقمة الجبل (١.٣١٣ قدما).



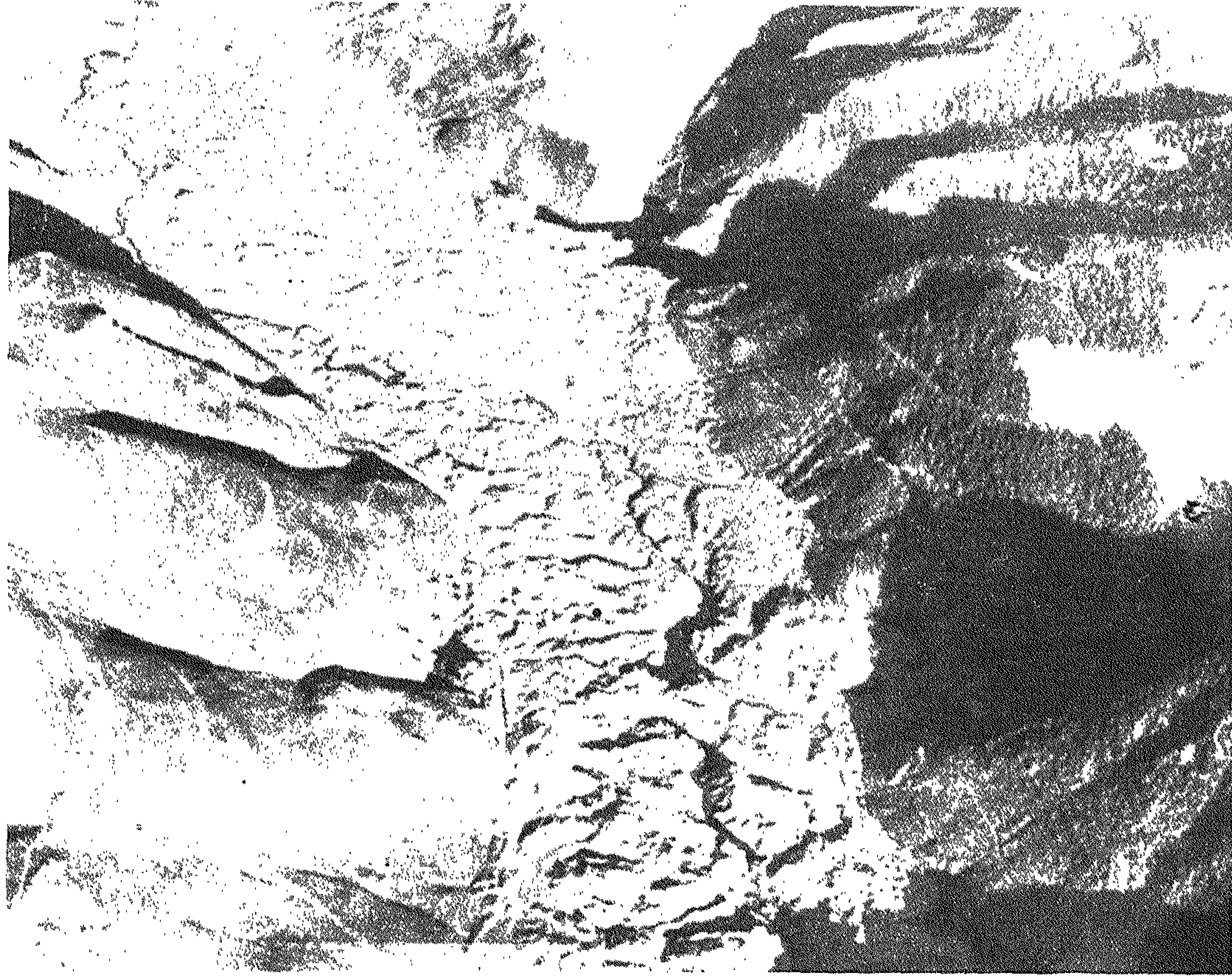
الشكل (٧-١٢) سلسلة ثورات بركان جبل سانت هيلانة في ١٩٨٠. (أ) تكوّن المخروط البركاني المتناسق في عامي ١٨٤٣ و١٨٥٧. (ب) في أواخر مارس أحدثت الصهارة المرتفعة والغازات المتضخمة انبعاجا يتزايد في الجانب الشمالي. (جـ) وفي الساعة ٨,٣٢ من صباح يوم ١٨ مايو ١٩٨٠ حدث زلزال قوته ٥,١ فتسبب في سقوط الانبعاج في انزلاق أرضي/ جلمود كبير. (د) خفف الانزلاق الأرضي من الضغط من فوق كتلة الصهارة القريبة من السطح فحدث انفجار فوري للصخور المتفتتة والصهارة. (هـ) خلا الطريق الآن في حلق البركان فانطلقت ثورة عمودية من الغازات وقطع الصهارة إلى ارتفاعات تزيد عن ٢٠ كم (١٢ ميلا) لمدة ٨ ساعات. (و) واليوم يعيد الجبل ببطء بناء قبته البركانية بالصهارة الغنية بثاني أكسيد السيليكون SiO_2.



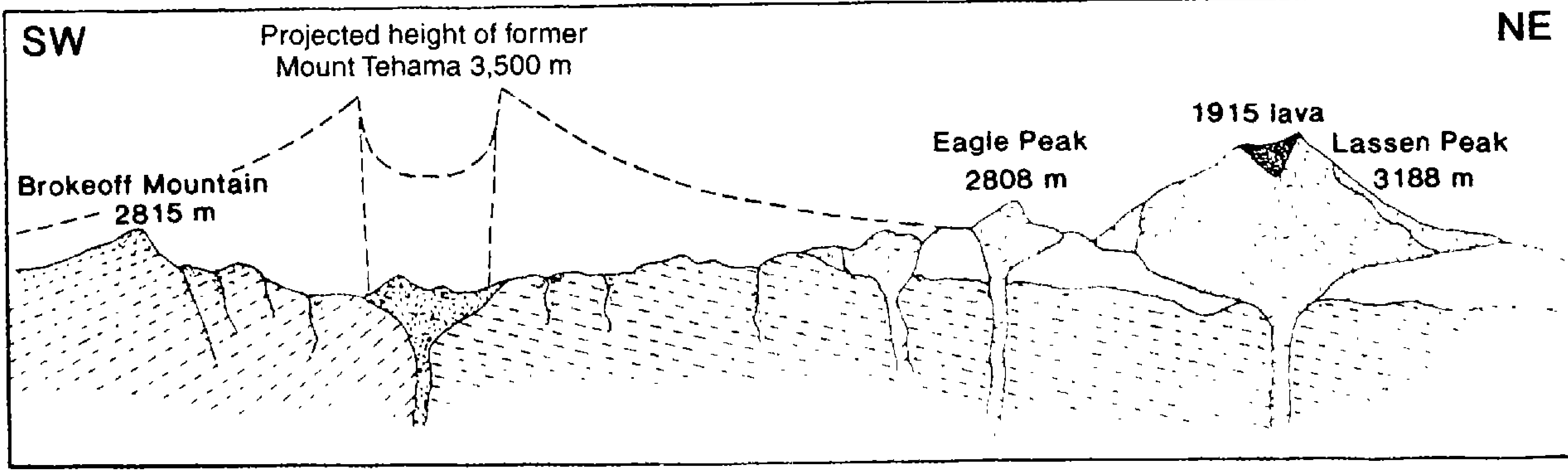
الشكل (٧-١٣) خريطة بالمواد التى تكدست فى ثورة بركان جبل سانت هيلانة فى يوم ١٨ مايو ١٩٨٠. حدثت الرواسب من الجلاميد فى الانزلاق الأرضى المبدئى. ثم أعقبه على الفور انفجار جانبى. ثم تدفقت صخور فتاتية حرارية من كتلة الصهارة المكشوفة. وفى هذه الأثناء انبجست المياه الجوفية الفائقة السخونة والجليد والثلوج التى ذابت فسيَّلت الرواسب وفاضت على المنحدرات على شكل حمم طينية تدفقت فى الوديان.



الشكل (٧-١٤) منظر للجانب الشمالى الشرقى المدمر لجبل سانت هيلانة فى يوم ٢٠ أغسطس ١٩٨٠. ويشاهد فى خلفية الصورة جبل آدامز.



الشكل (٧ - ١٥) نهر توتيل مختنق بحطام الثورة .



الشكل (٧-١٦) قطاع مقطعي في قمة لاسين - إقليم جبل تهامة في كاليفورنيا.



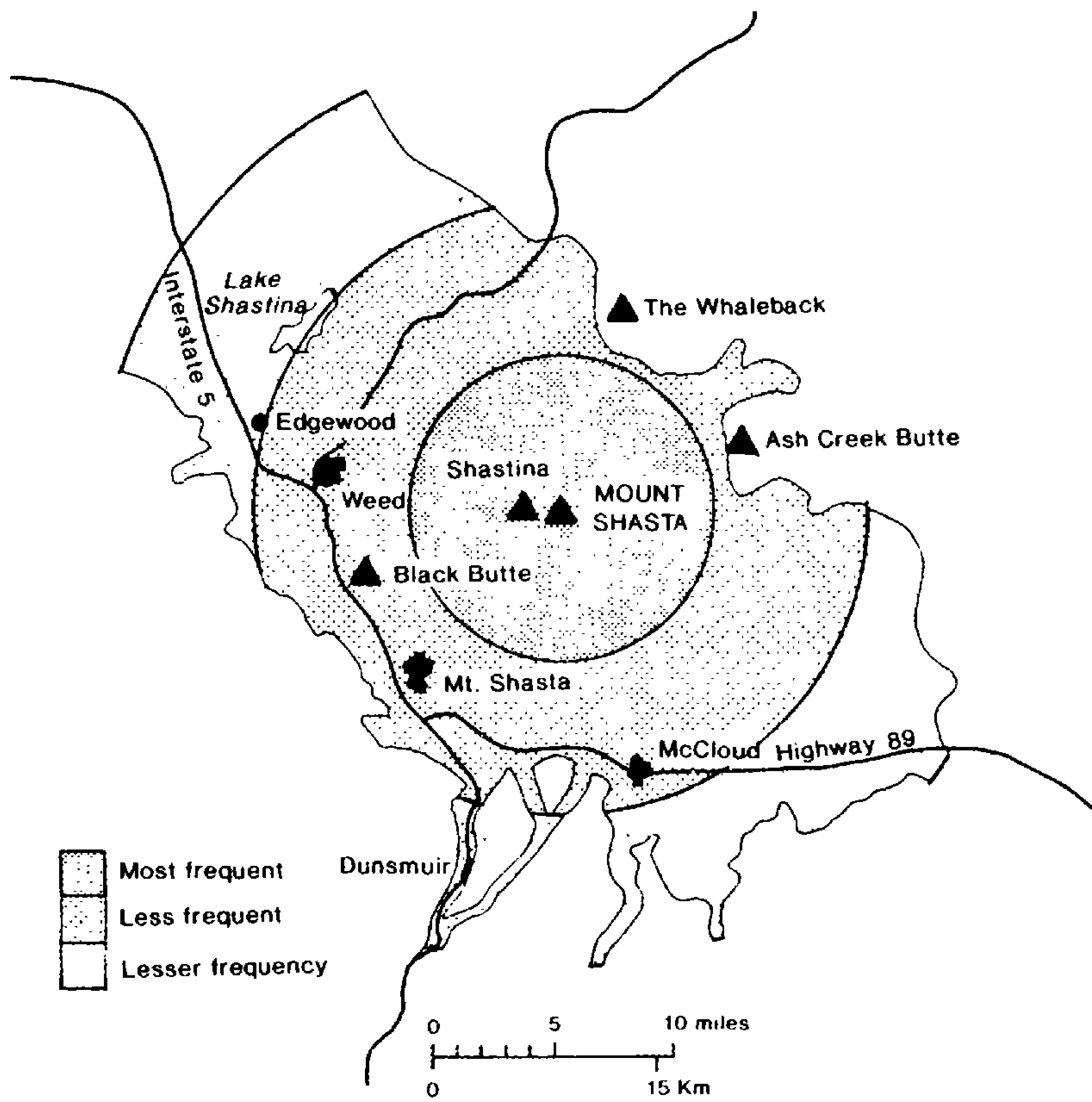
الشكل (٧-١٧) قبة حمم نوفارابتا تكوّنت عندما سدت الصهارة المتجمدة قناة الصهارة المركزية في ثورة ١٩١٢ في بركان كاتماى فى آلاسكا. والقبة قطرها ٨٠٠ قدم وارتفاعها ٢٠٠ قدم.



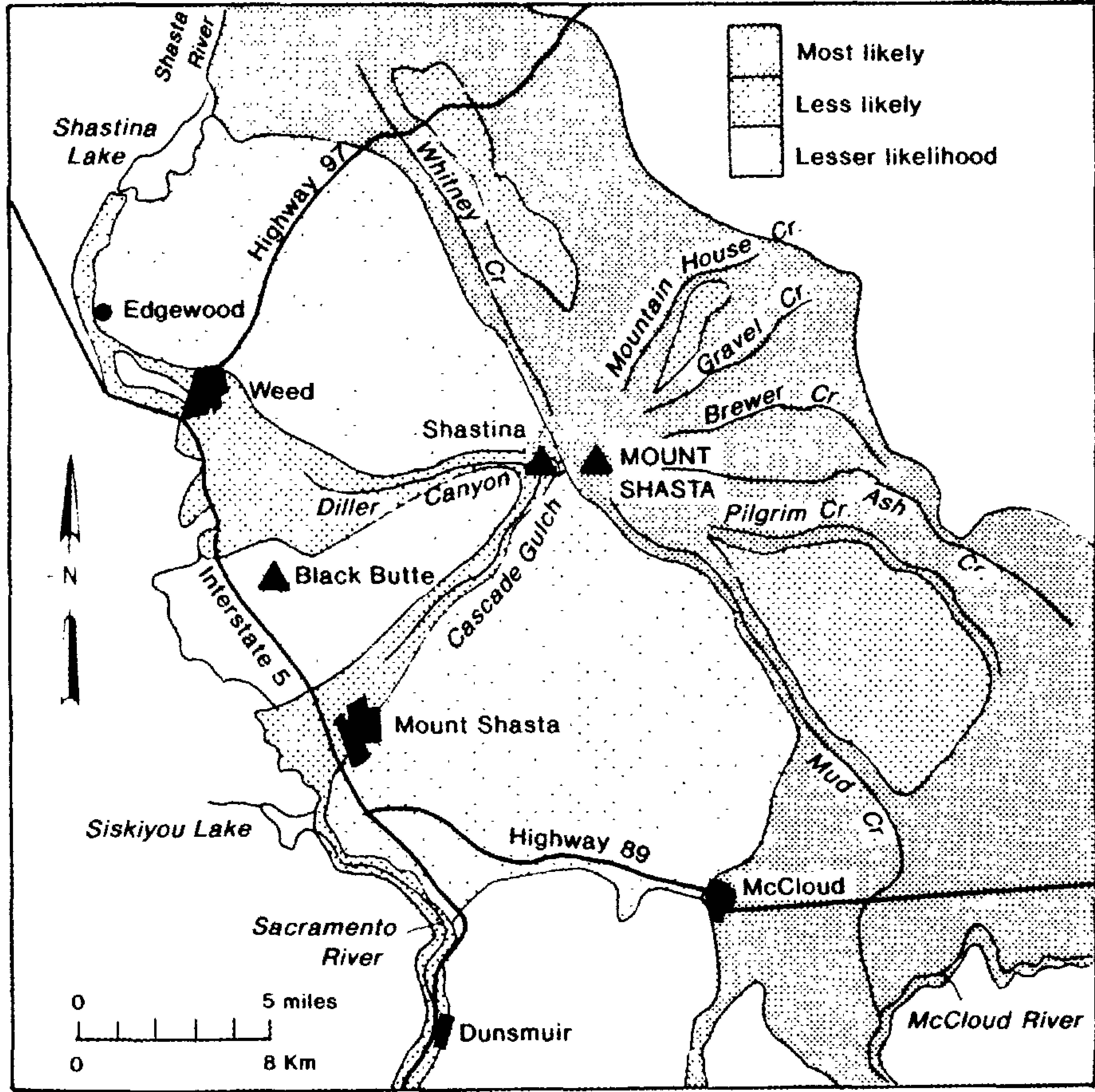
الشكل (٧-١٨) مشهد للجانب الشمالي لقمة لاسين، التى دمرتها ثورة بركان ١٩ مايو ١٩١٥.



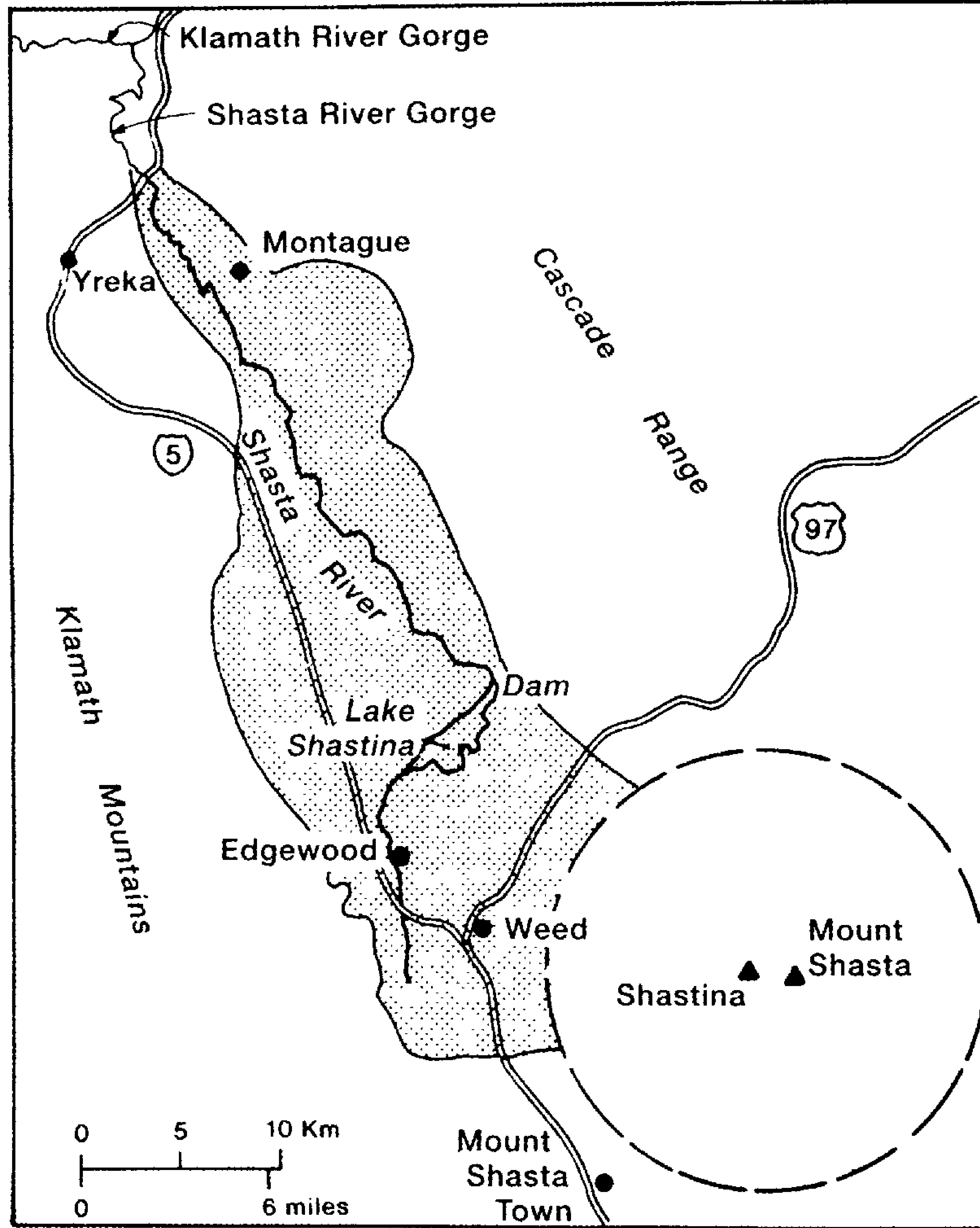
الشكل (٧-١٩) مشهد من شمال جبال شاستا وشاستينا. لاحظ شبكة الطرق المستخدمة في تنمية المدن والمنشأة فوق الحمم والتدفقات والحمم الطينية ورواسب الجلاميد.



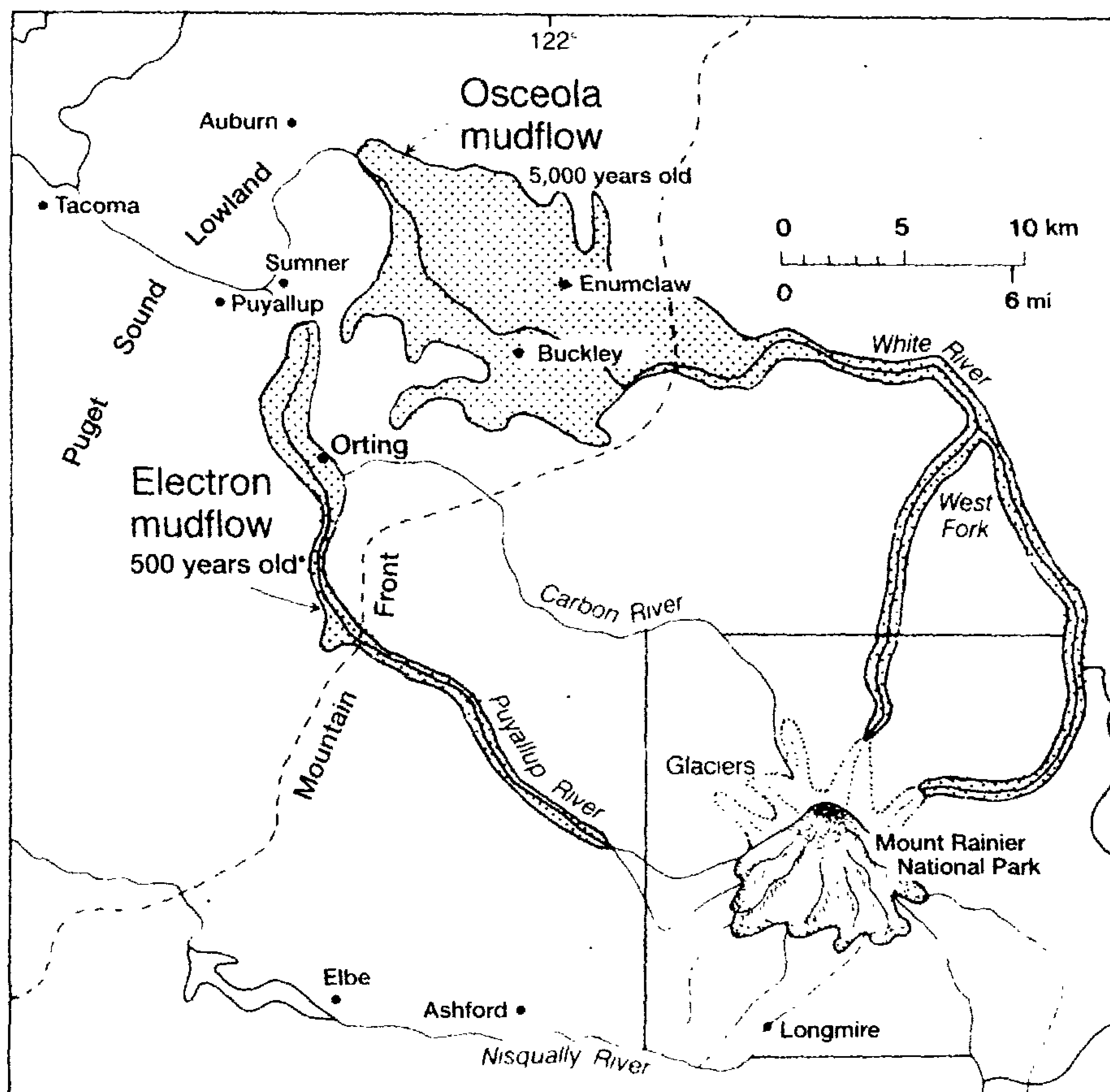
الشكل (٧-٢٠) خريطة لإقليم جبل شاستا- شاستينا. توضح المناطق الأكثر تعرضا للانفجارات الجانبية وتدفقات الصخور الفتاتية الحرارية. لاحظ المدن المتنامية داخل نطاقات الخطر.



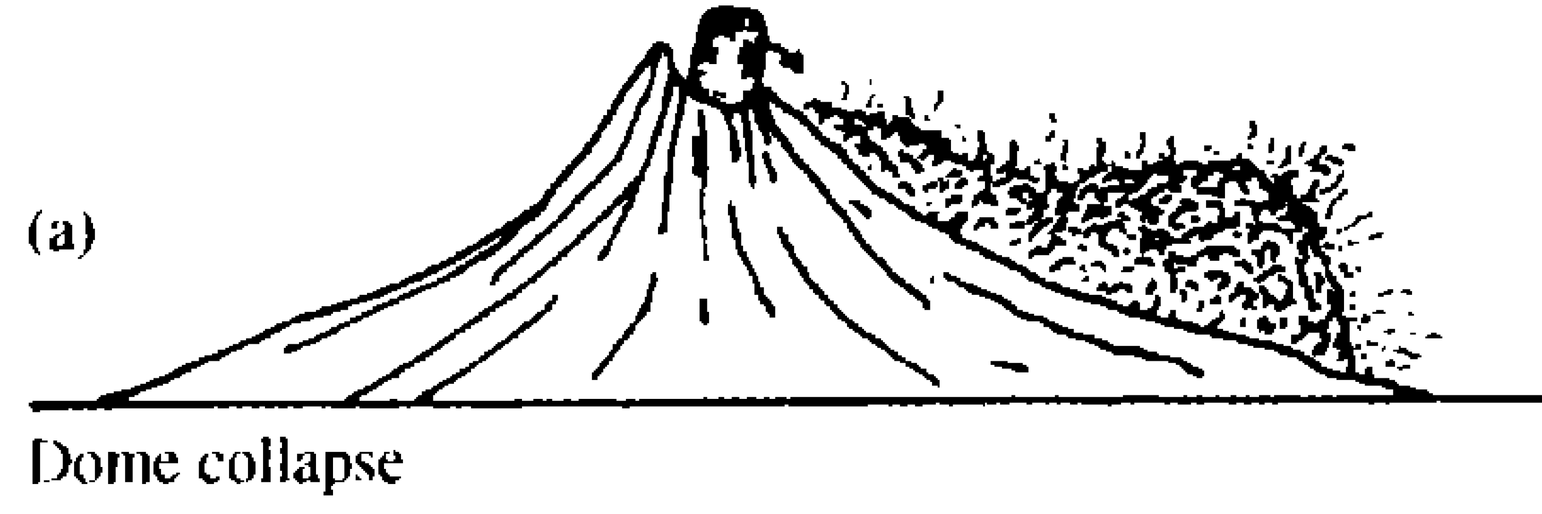
الشكل (٧-٢١) خريطة لإقليم جبل شاستا- شاستينا توضح أكثر الممرات احتمالا لتدفقات الحمم الطينية. وتميل هذه التدفقات الطينية البركانية إلى الأراضى المنبسطة فى قاع النهر حيث بنيت المدن.

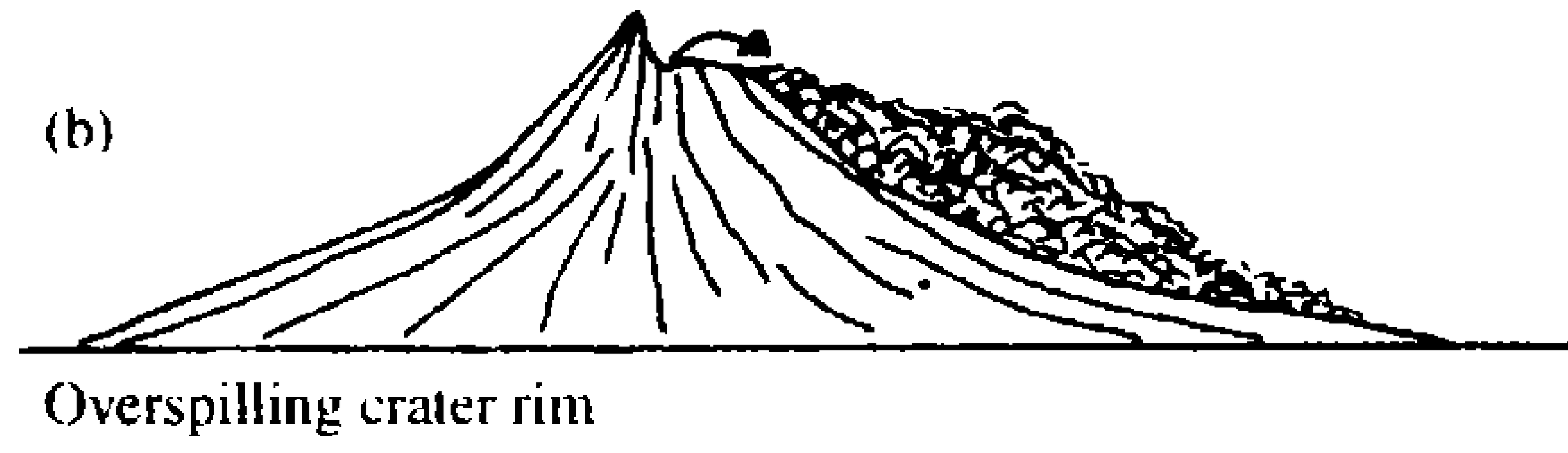


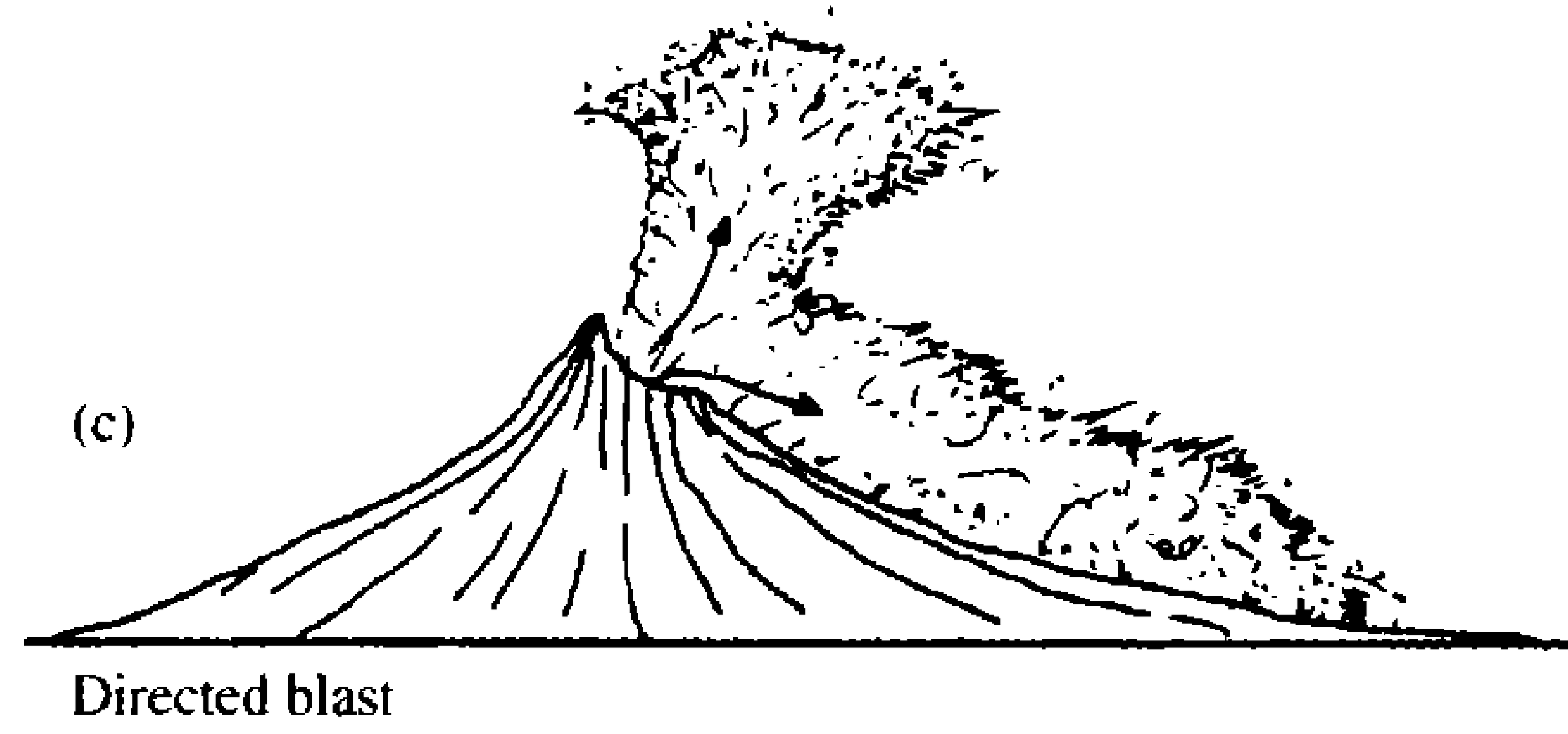
الشكل (٧-٢٢) خريطة لترسب جلمود منذ ٣٠٠,٠٠٠ سنة عند قاعدة جبل شاستا. وتعادل كمية المواد ثمانية أضعاف مثيلاتها المتدفقة من ثورة بركان جبل سانت هيلانه فى عام ١٩٨٠. وتشكل قاعدة الأساسات لثلاث مدن وخزان ماء.

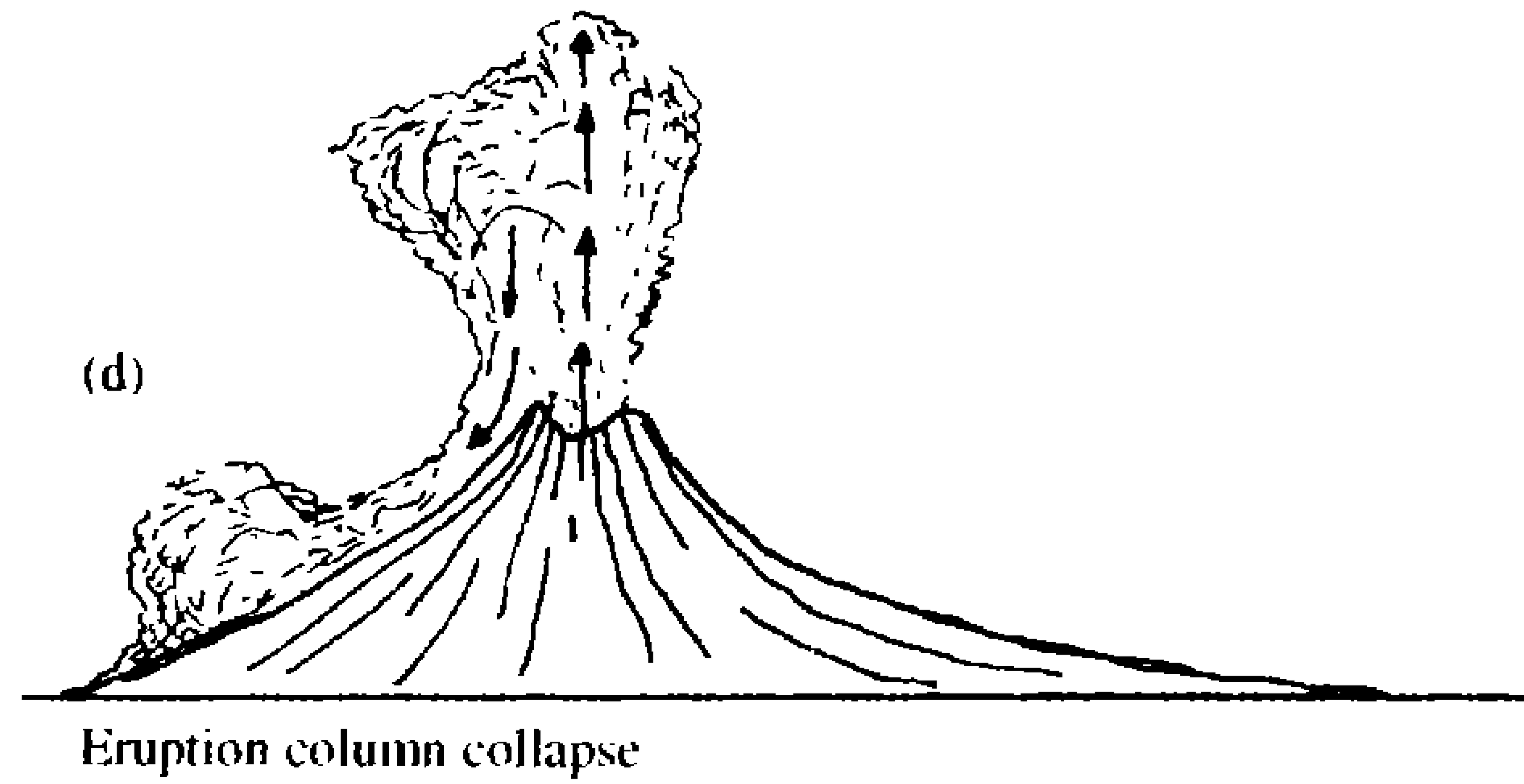


الشكل (٧-٢٣) خريطة توضح منطقة تغطيها طبقتان من تدفقات الحمم الطينية التى تدفقت من جبل رينيير.





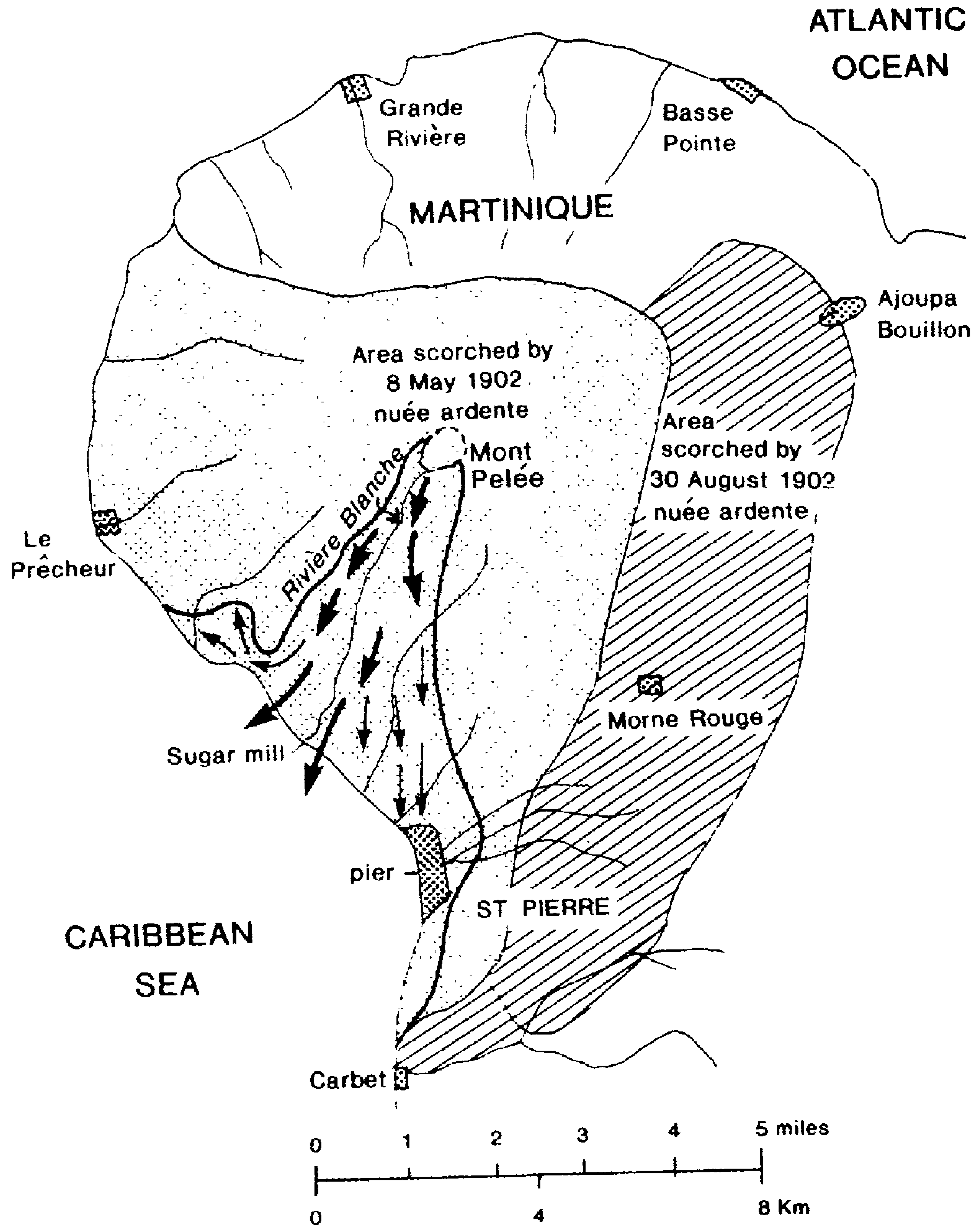




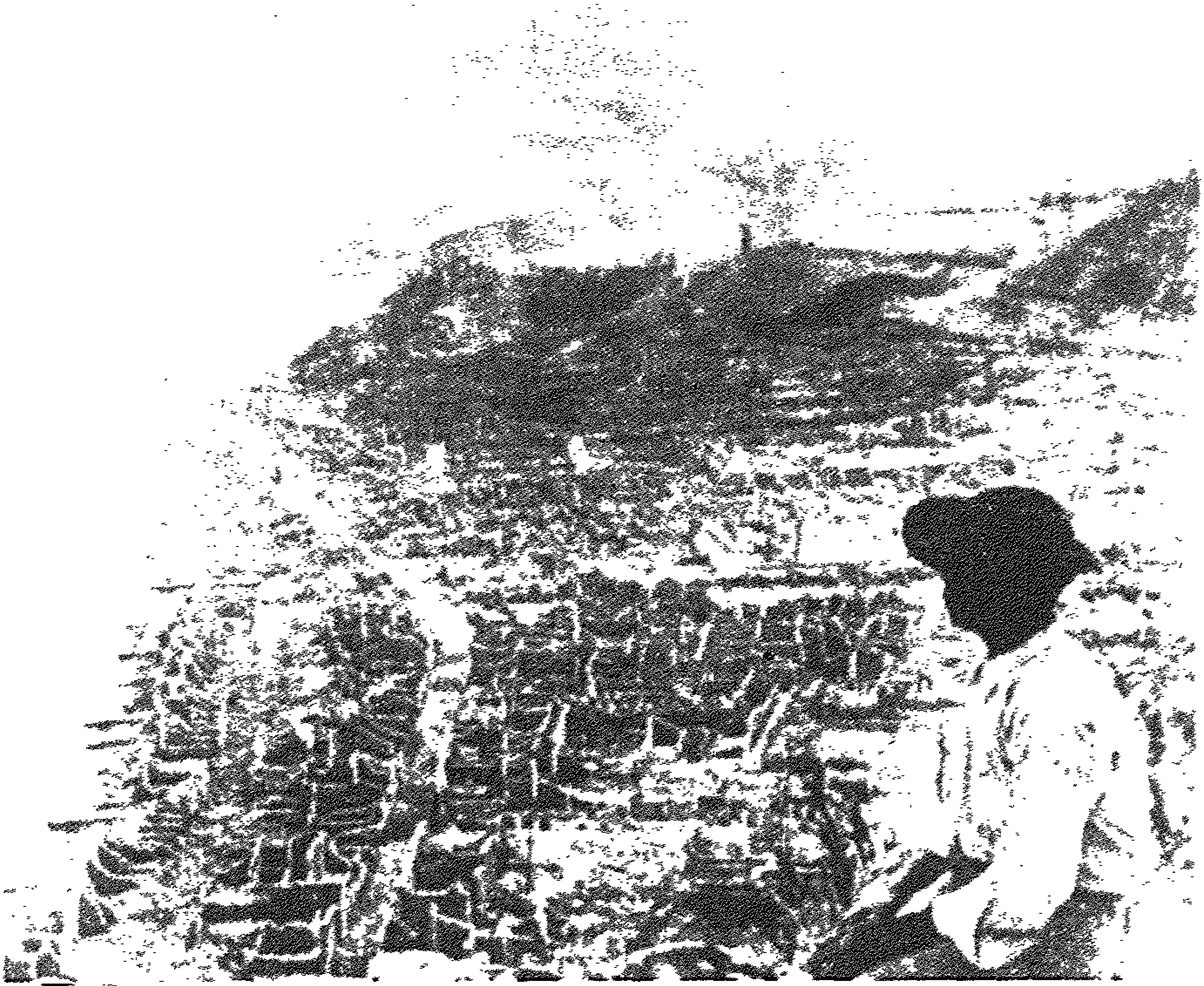
الشكل (٧-٢٤) طرق تكوين تدفقات الصخور الفتاتية الحرارية. (أ) انهيار القبة كما حدث في جبل أنزين في ١٩٩١؛ (ب) فيض يسيل من حافة الفوهة كما حدث في جبل بيليه في ١٩٠٢-١٩٠٣؛ (جـ) انفجار موجة كما حدث في جبل سانت هيلانة في ١٩٨٠ وفي جبل بياتيوبو في ١٩٩١؛ (د) انهيار عامود الثورة كما حدث في جبل مايون في ١٩٦٨.



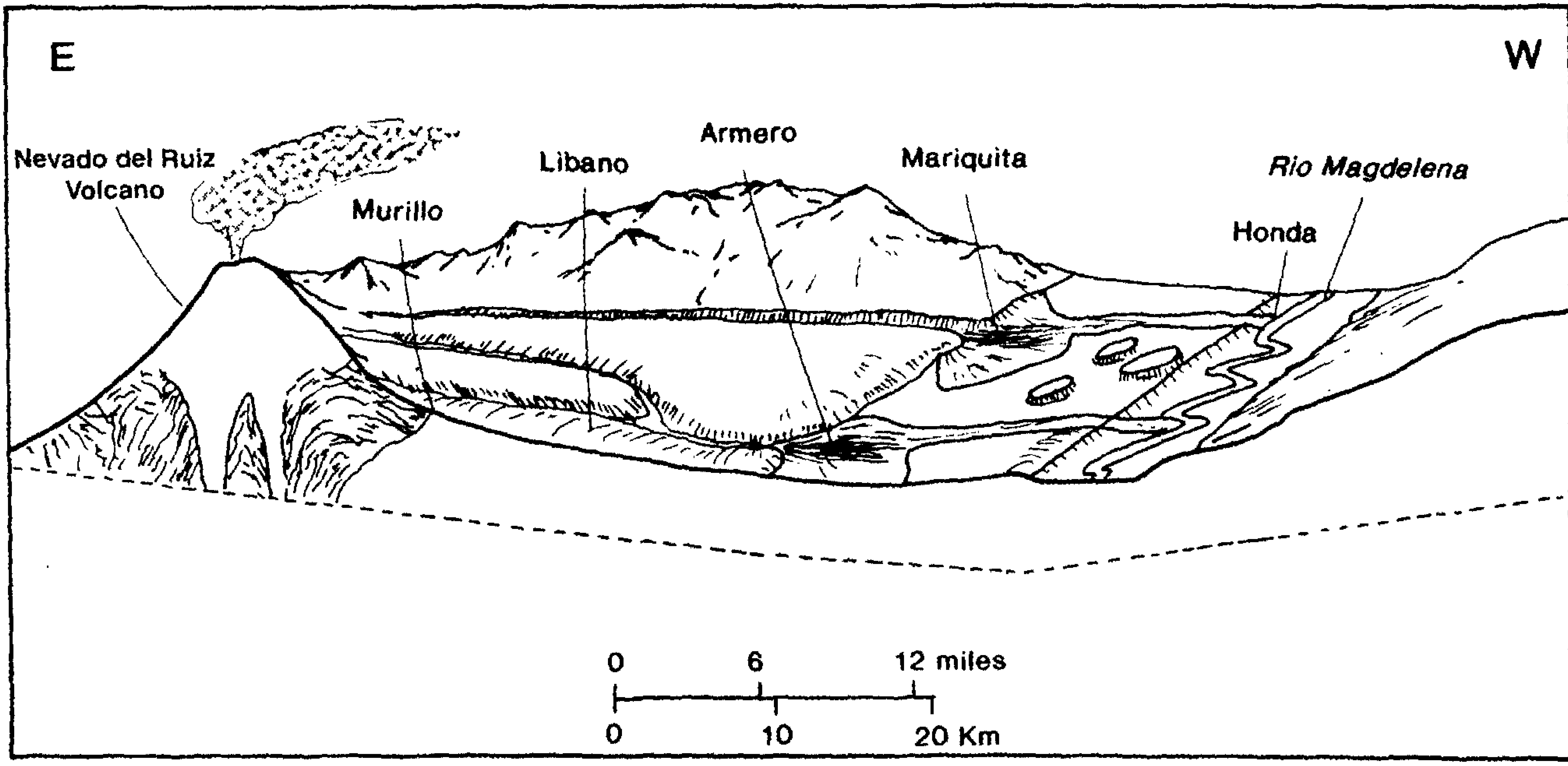
الشكل (٧-٢٥) تكوُّن تدفقات الصخور الفتاتية الحرارية على شكل انهيارات لعامود الثورة العمودية ثم تدفقها أسفل التل، في بركان مايون في الفيليبين في ١٩٦٨.



الشكل (٧-٢٦) خريطة لجبل بيليه توضح منطقة احترق سطحها بأكبر السحب المتوهجة فى عام ١٩٠٢.



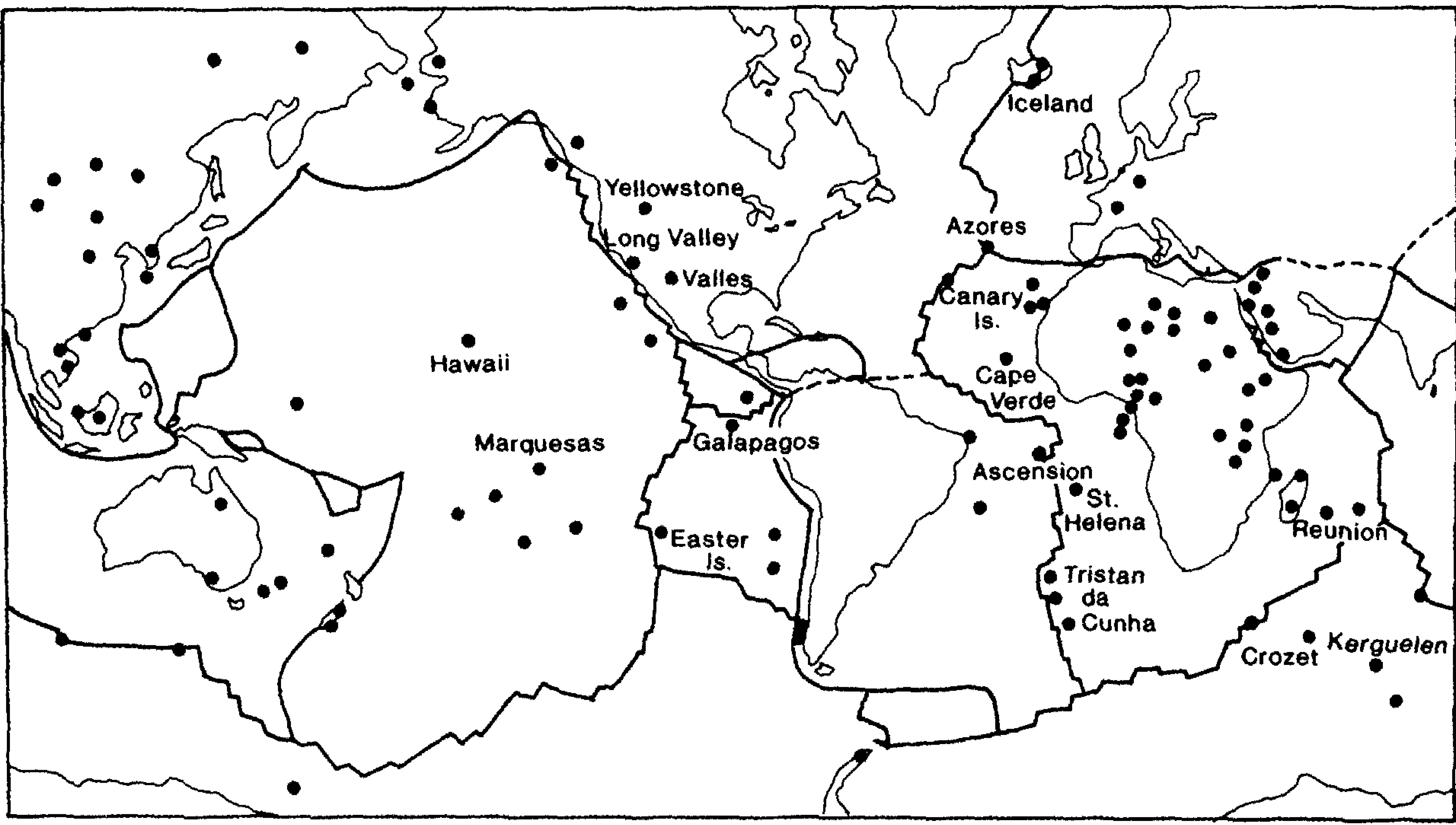
الشكل (٧-٢٧) أطلال سانت بيير بعد السحابة المتوهجة فى مايو ١٩٠٢. ويوجد جبل بيليه فى خلفية الصورة.



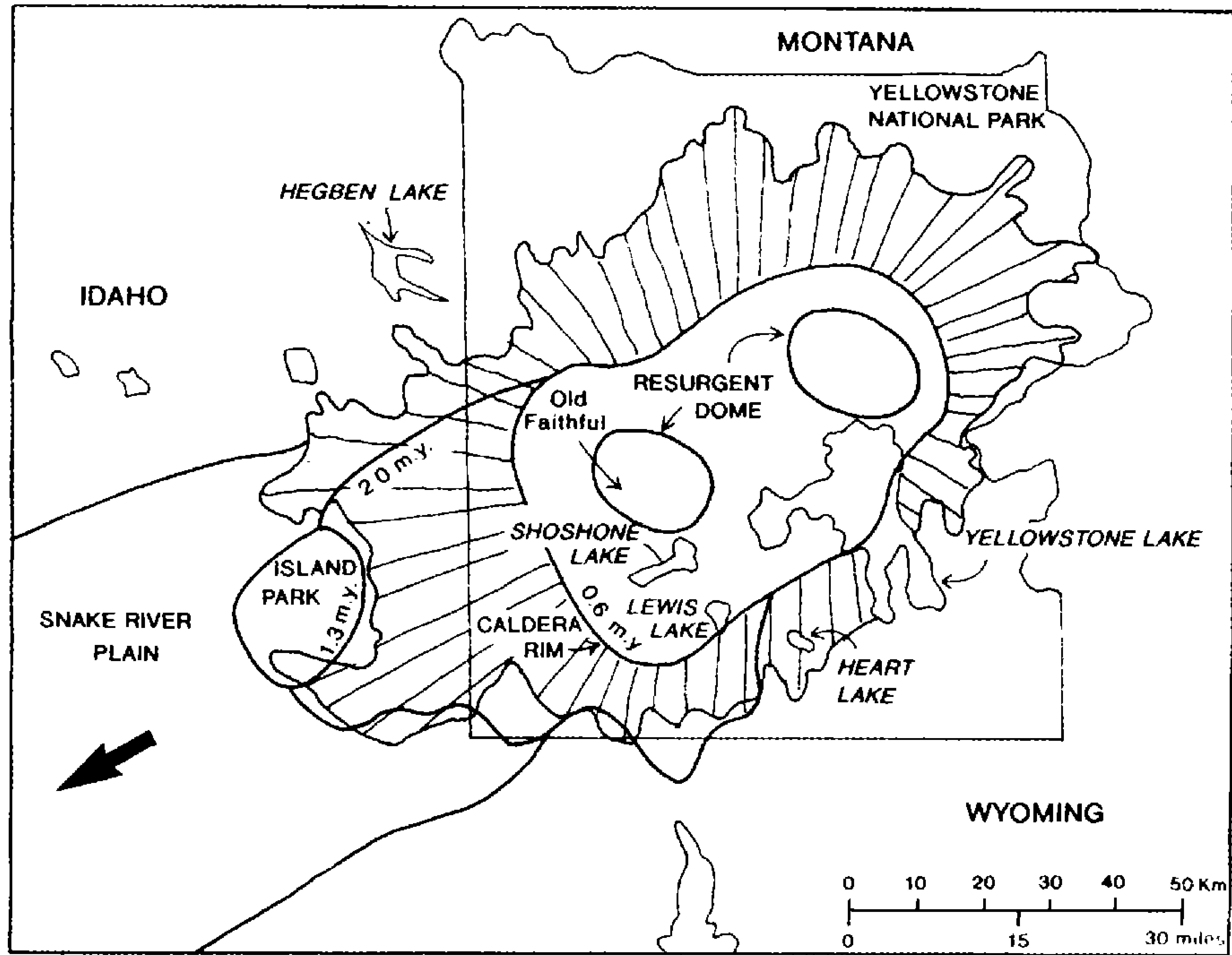
الشكل (٧-٢٨) ثورة بركان نيفادا ديل رويز فى ١٩٨٥ أسقطت حطاما للصخور الفتاتية الحرارية فوق المجلدات فتكونت على إثرها الحمم الطينية.



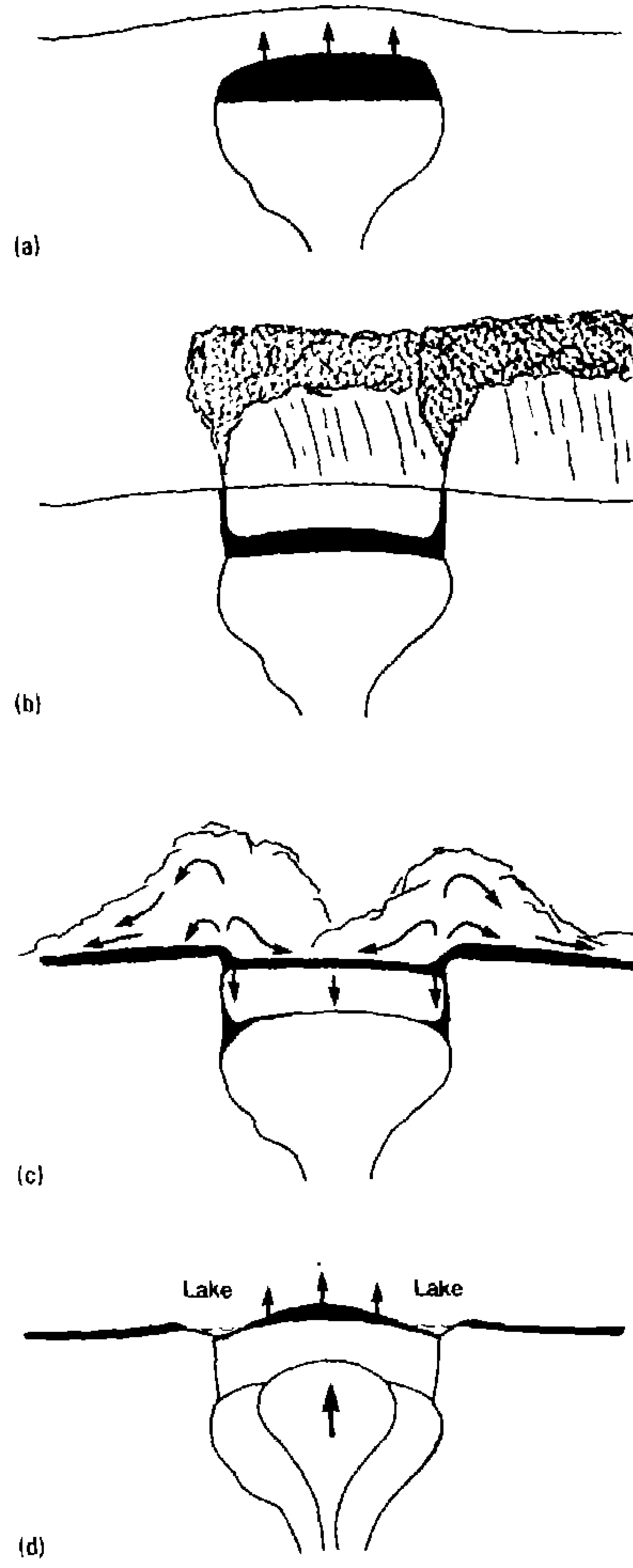
الشكل (٧-٢٩) معظم مدينة أرميرو فى كولومبيا، ويرقد تحت الحمم الطينية التى يزيد سمكها عن ٨ أمتار (٢٦ قدما) ٢٢,٠٠٠ شخص من سكانها.



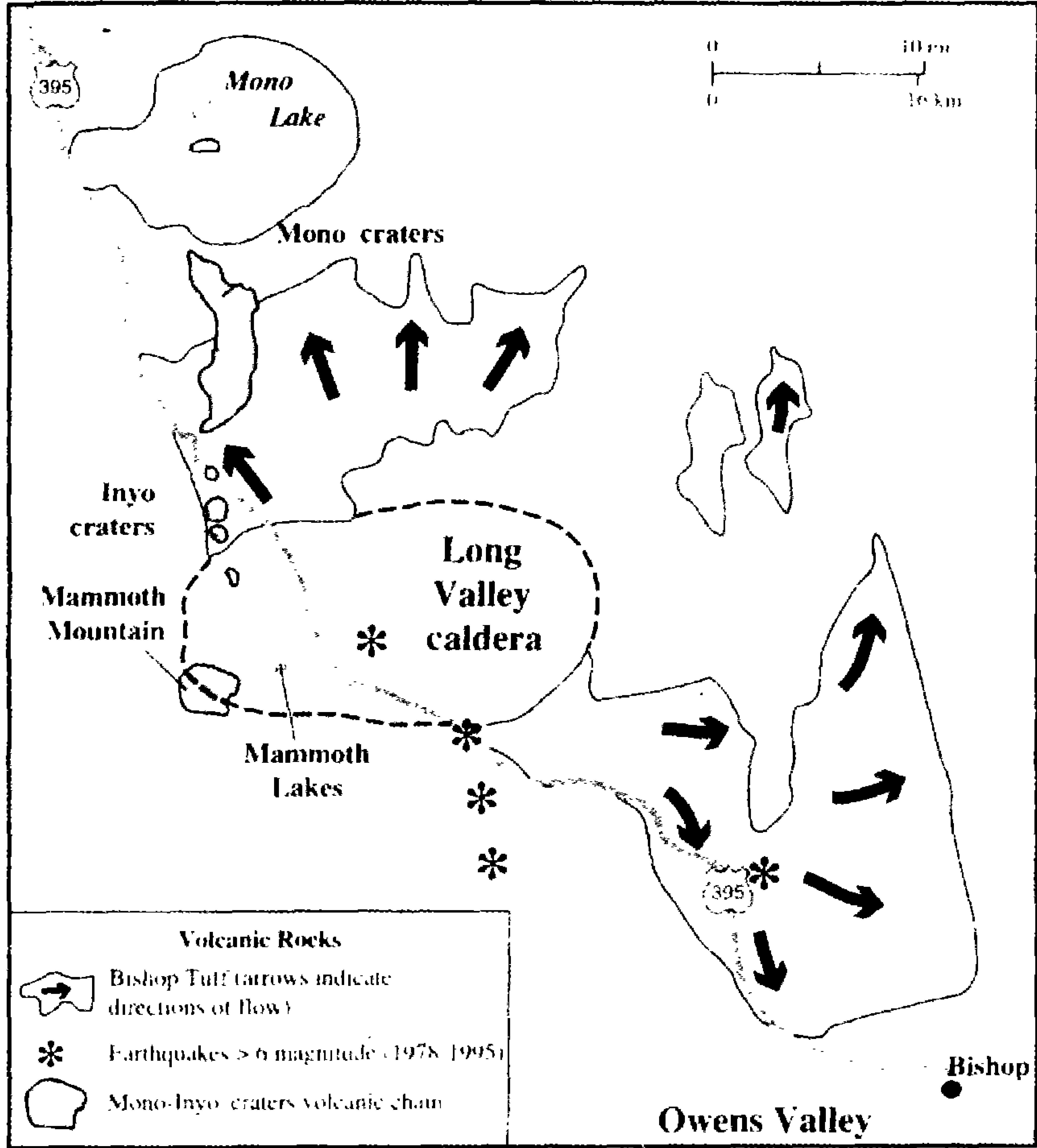
الشكل (٧-٣٠) بقع حارة نشيطة فى ١٠ مليون سنة الأخيرة. والقارة القطبية الجنوبية غير موضحة هنا ولكنها تقع فوق ١١بقعة حارة، وهى تطرح أسئلة حول الآثار التى تنجم عن إذابة كتل هائلة من الجليد.



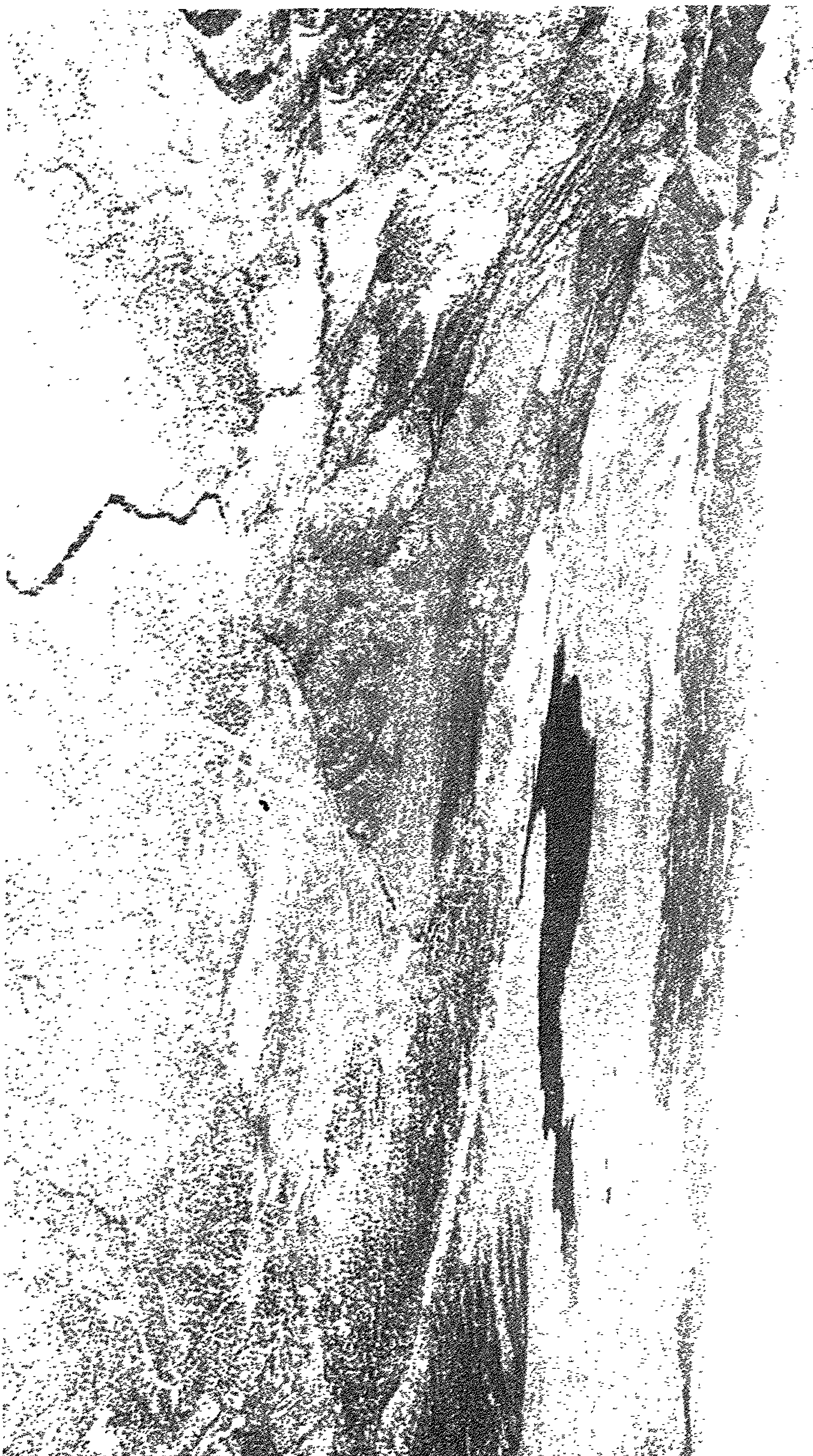
الشكل (٧-٣١) منطقة البقع الحارة في يلوستون. فقارة أمريكا الشمالية تتحرك إلى الجنوب الغربي، ولهذا تثور ريشة الصهارة في البقع الحارة تدريجيا إلى الشمال الشرقي مع مرور الزمن. وثارت ثلاث كالديرات عملاقة في ٢مليون سنة الماضية - منذ ٢ مليون و١,٣ مليون و٠,٦ مليون سنة الماضية. وكانت المنطقة المظللة مغطاة بتدفقات صخرية فتاتية حرارية ساخنة أثناء ثورة ٦٠٠,٠٠٠ سنة الماضية.



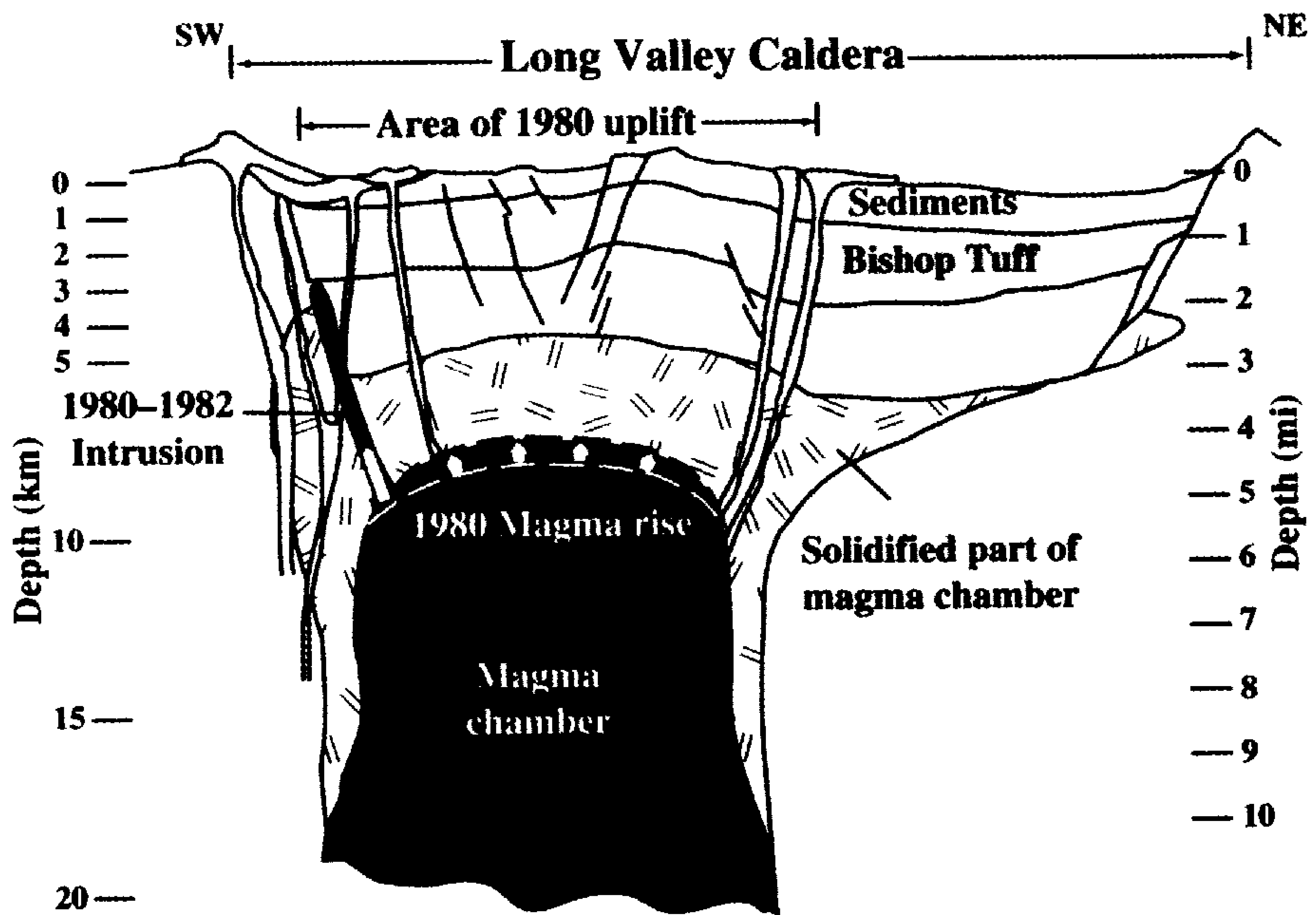
الشكل (٧-٣٢) مراحل تكوين كالديرات قارية عملاقة. (أ) تكوِّن كتلة الصهارة المتصاعدة قمة قليلة الكثافة غنية بثانى أكسيد السيليكون SiO_2 والغازات فينبعج سطح الأرض إلى أعلى. (ب) وتبدأ ثورة بلايني من الشقوق الدائرية المحيطة بالانبعاج. (جـ) وتسيل الصهارة فى تدفقات الصخور الفتاتية الحرارية بأحجام كبيرة فتؤدى إلى هبوط سطح الأرض على شكل كالديرات عملاقة. (د) ويخفض زوال الصهارة من ضغط القشرة مما يؤدى إلى انبعاج قاع الكالديرا بفعل الصهارة الجديدة.



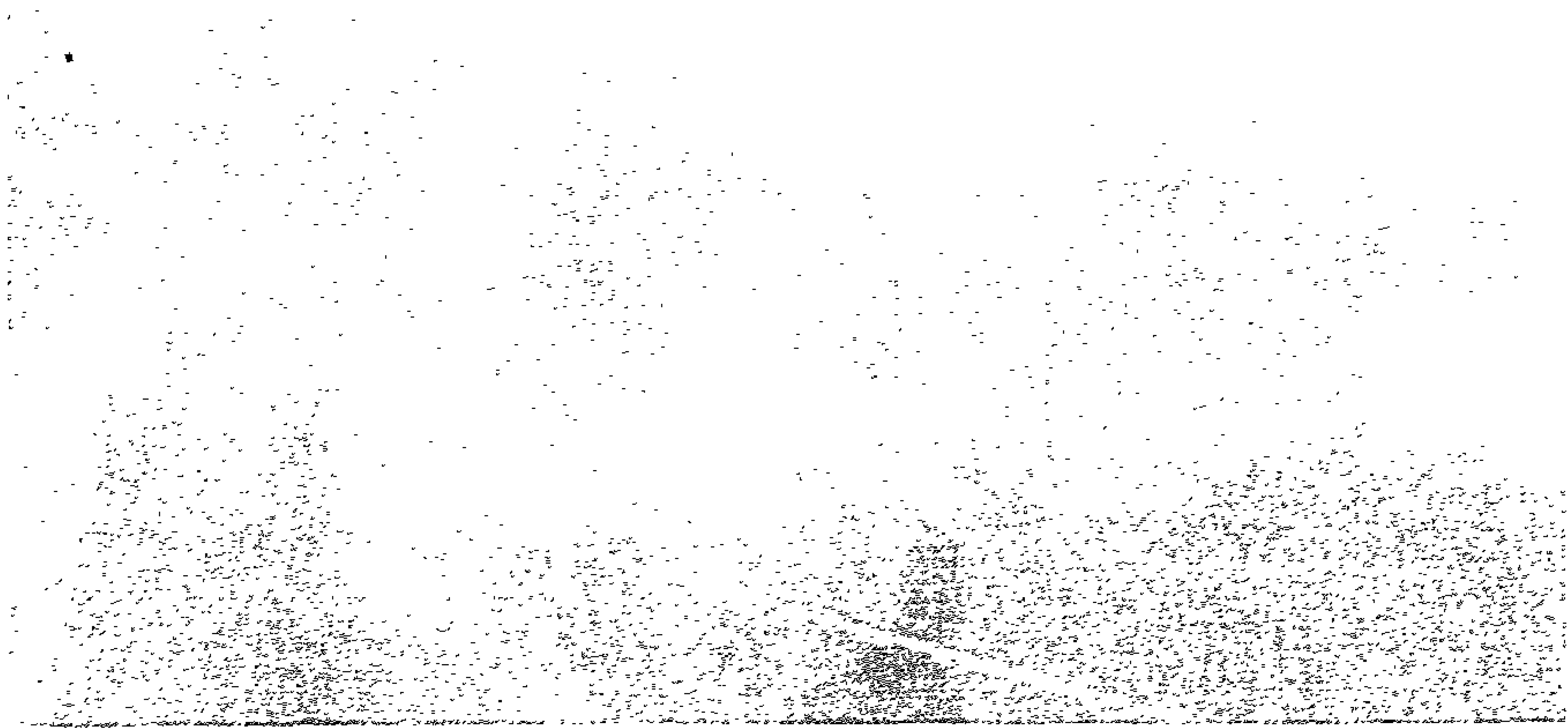
الشكل (٧-٣٣) خـريطة توضح كالديرة لونج ڤالى التى تكونت من الثورات الكبيـرة. وبيشـوب طف أطلال غير متحاته من حطام الصخور الفتاتية الحرارية التى تراكمت من الثورات الكبيرة الأخيرة.



الشكل (٧-٢٤) صورة على مجموعة الكالديرا في لونج ڤالي في كاليفورنيا.



الشكل (٧-٣٥) قطاع مقطعى متجه من الشمال الشرقى إلى الجنوب الغربى فى كالديرا لونج ڤالى يوضح حجم وعمق كتلة الصهارة. ويتحرك التداخل الذى يشبه اللسان إلى أعلى فى الحافة الجنوبية فى الكالديرا فى ١٩٨٠-١٩٨٢.



الشكل (٧-٣٦) ثورة نمـوذج فيزوف فى جبـل بيناتيوبو فى يـوم ١٥ يونيـة ١٩٩١ التى استمرت ١٥ ساعـة ودفعت تدفقـات من الصخور الفتاتية الحرارية سالت تحت المنحدر (من اليسار إلى اليمين). مقياس قوة البركان = ٦.

مراجع الفصل السابع

Suggested Readings and References نصوص ومراجع مقترحة

Crandell, D. R., and Nichols, D. R. (1987). *Volcanic hazards at Mount Shasta, California.* U.S. Geological Survey Publication.

Crandell, D. R., Mullineaux, D. R., and Rubin, M. (1975, 7 February). Mt. St. Helens volcano: Recent and future behavior. *Science,* 187, 438–41.

Decker, R., and Decker, B. (1998). *Volcanoes.* New York: W. H. Freeman.

Perret, F. A. (1937). *The Eruption of Mount Pelée 1929–1932.* Washington, D.C.: Carnegie Institute of Washington.

Sigurdsson, H. (ed.) (2000). *Encyclopedia of Volcanoes.* San Diego: Academic Press.

Swanson, D. A., and Christiansen, R. L. (1973, October). Tragic base surge in 1790 at Kilauea volcano. *Geology,* 83–86.

Vallance, J. W., and Scott, K. M. (1997). The Osceola mudflow from Mt. Rainier. *Geological Society of America Bulletin,* 109 143–63.

Volcanoes and the Earth's Interior. (1982). Readings from *Scientific American.* San Francisco: W. H. Freeman.

Videos الفيديو

The 1902 Eruption of Mont Pelée. (1988). Michigan Tech University (20 min.).

Volcanoes—Our Fiery Neighbors. (1990). KGO-TV San Francisco (22 min.).

Anatomy of a Volcano—St. Helens. (1981). Time-Life (57 min.)

Volcanic Eruption in Colombia. (1988). Pan-American Health Organization (15 min.).

Volcano: Nature's Inferno. (1997). National Geographic Society (60 min).

Raging Planet: Volcano. (1998). Discovery Channel (50 min.).

الفصل الثامن

حركات الكتل

مـن المـلامـح المـمـيـزة — لـلـجـاهـلـين مـن الـبـشـر
تـسـرُّعٌ فـى قـولـهـم — وتـشـدُّدٌ فـى رأيـهـم
والـعـالـمُ المـتـمـكـن — حـصـيـف فـى الـتـدبـر
ودائـمـا يـتـطـور — ويـقـبـل المجـادلـة
فـالـعـلـم ذو فـوائـد — ووسـائـل مـيـسـرة
إذ يـنـعـش الـضـمـائـر — لـدى الـعـقـول الـنـيِّـرة
يـسـلِّـم بـالـدلائـل — ومـا يـراه فـى يـده
ويـسـتـعـد دائـمـا — لـلاعـتـراف بـالخـطـأ

برتراند راسل، ١٩٢٨

الخطوط العريضة فى الفلسفة

تتحرك أحجام كبيرة من المواد على المنحدرات تحت سَحْب الجاذبية، ويحدث بعضها على شكل كارثى. وحركات الكتل هذه تحدث فى جميع أنحاء العالم. وفى الولايات المتحدة لا تستثنى منها ولاية. ولا يُبلَّغ عن معظم حركات الكتل على انفراد، بل تُبلَّغ ضمن وصف الأحداث التى حفَّزت حركاتها مثل الزلازل وثورات البراكين والعواصف المطرة الكبيرة. وتتسبب حركات الكتل فى الولايات المتحدة سنويا فى حوالى ١,٥ بليون دولار من الخسائر و٢٥ من القتلى. ففى الولايات المتحدة يحدث كل عام حوالى مليونى حركة للكتل.

دور الجاذبية

الجاذبية عنيدة، إذ تعمل ٢٤ ساعة فى اليوم، وتعمل فى جميع أيام السنة وتطبق قانون الجاذبية بشدة. فالسَّحب الدائم للجاذبية هو القوة المباشرة الكامنة فى عناصر التحات (الفصل الأول). فالأمطار تسقط والماء يتدفق والجليد ينزلق والرياح تهب والأمواج تتكسر تحت تأثير الجاذبية. ولكن الجاذبية كذلك تستطيع أن تحدث تغيرات كبيرة وهى تعمل تلقائيا فى معظم الأحيان بدون تدخل من عناصر التحات الأخرى. والعمل الذى تضطلع به الجاذبية وحدها هو موضوع هذا الفصل.

فالجاذبية تسبب حركات الانزلاقات الأرضية إلى أسفل وإلى الخارج والانهيار إلى أسفل للهبوط الأرضى (الخسف). وإذا تيسر لها الوقت الكافى لسحبت كل الأراضى إلى البحار، ولملأت أحواض المحيطات ولسطحت الأرض. وعبر الآماد الطويلة للزمن الجيولوجى كان من الممكن أن تنهار كل المنحدرات؛ فالمنحدرات جميعها ينبغى النظر إليها على أنها فى الأصل غير مستقرة. وانهيارات المنحدرات قد تكون أحداثا كارثية جبارة، مثلما يحدث عندما ينفصل أحد أجناب الجبل ويزأر وهو يسقط؛ أو عندما يتشوه بهدوء منحدر التل ويستسلم لقوى الجاذبية العتيدة فى العملية البطيئة جدا المعروفة بالزحف.

والجاذبية تسحب المواد إلى أسفل بقوة يمكن قياسها. فمثلا تخيل جلمودا وزنه رطل واحد يقع فوق منحدر مقداره ٣٠° (الشكل ٨-١). فالجاذبية تمارس سحبا للجلمود مقداره رطل واحد فى اتجاه مركز الأرض؛ ولكن الأرض تبلغ من الصلابة بما لا يسمح للجلمود بالتحرك عموديا إلى أسفل. فعلاقات الدالة المثلثية بالمثلث تسمح بتقدير القوى الأفقية والرأسية الواقعة على الجلمود. ويمكن حساب قوة السقوط كالآتى ١ رطل × جيب الزاوية ٣٠° = $\frac{1}{2}$ رطل. وهذه القوة ذات $\frac{1}{2}$ رطل موجهة إلى أسفل المنحدر نحو الفراغ المفتوح؛ وكل ما يلزم هو بعض الطاقة المبدئية التى تتغلب على القصور الذاتى حتى يبدأ الجلمود فى الحركة. وربما حدثت الطاقة المبدئية بفعل زلزال أو أمطار غزيرة أو وطأة حافر لأحد الخراف أو غير ذلك.

الزحف

تحث الجاذبية المواد على الحركة بالزحف، وهو أبطأ شكل من أشكال انهيار المنحدرات وأوسعها انتشارا. وغالبا ما يكون الزحف حركة ضئيلة غير محسوسة لانحدار التربة ومناطق الصخر الأساسى العلوية. ويمكن رؤية الزحف أكثر وضوحا بتأثيره على الأشياء مثل أعمدة الهاتف والأسوار، التى تميل للانحدار أو الأشجار التى تشوهت جذوعها وهى تنمو وترتفع بينما جذورها تمتد فى تربة تنزلق إلى أسفل (الشكل ٨-٢أ). وتنزلق مناطق التربة فى حركات بطيئة للغاية عندما تنتقل جزيئات فردية وتتحرك استجابة للجاذبية؛ أما منطقة الصخر الأساسى العلوية فتخضع للسحب بالتقوس إلى أسفل (الشكل ٨-٢ب).

ما هى الآليات التى تحرك التربة والصخر بالفعل؟ أولا، لاحظ أن سطح الأرض ليس دائم الاستقرار؛ فهو يتحرك إلى أعلى وإلى أسفل. ثانيا، أن حجم التربة ليس دائم الثبات ولكنه يتمدد ويتقلص. وهناك عدة قوى تؤدى إلى تمدده. (١) فالتربة بها نسبة مئوية كبيرة من الثغرات الفراغية أو المسام. وعندما يتسرب الماء إلى تلك الثقوب المسامية ويتجمد يتمدد حجمه بنسبة ٩٪، فيتمدد حجم التربة ويرتفع سطح الأرض إلى أعلى. (٢) وعندما تتبلل التربة الغنية بالمواد القابلة للتمدد مثل المعادن الصلصالية تمتص الماء وتتمدد. (٣) وتؤدى حرارة الشمس إلى زيادة الحجم. وتتمدد التربة عموديا على سطح الأرض (الشكل ٨-٣).

وهناك قوى كثيرة تقلص كتل التربة والصخر والماء مسببة انخفاض سطح الأرض. فيحدث التقلص فى التربة: (١) بالذوبان. (٢) بالجفاف. (٣) بالتبريد. وانخفاض سطح الأرض يتأثر بسحب الجاذبية إلى أسفل محدثا حركة هبوط فى جزيئات منطقة التربة (الشكل ٨-٣). فالزحف تدفق بطيء إلى أسفل، ولكنه قد يتدرج إلى أنماط من التدفق الأسرع (الشكل ٨-٤).

أسباب انهيار المنحدرات

معظم الوفيات التى تحدث من حركات الكتل سببها الأنوا ع السريعة الحركة كما سجلها شاهد فى مقبرة فى ويستلاند فى نيوزيلاند.

باتريك أوبريان

الذى قَتله انزلاق أرضى

فى يوم ٨ مارس ١٨٨٨

وعمره ٣٧ عاما

أنذر الموت الشهيد إنذارا قصيرا

ولذلك كن حريصا أين تحيا

واندم الندم السريع ولا تؤجل

لأن الموت لم يمهله قط

والانزلاق الأرضى المعهود هو كتلة تحرك مركز جاذبيتها إلى أسفل وإلى الخارج (الشكل ٨-٥). وهناك منطقة تمزق فى أعلى المنحدر حيث تنسحب المادة إلى الخارج ومنطقة تجمع أسفل المنحدر تتراكم فيها المادة. والتقليل الشامل لزاوية المنحدر إحدى الخطوات لزيادة استقرار التل. ويعتمد الاستقرار على كل من العناصر الخارجية والعناصر الداخلية.

الأسباب الخارجية

تشمل القوى الخارجية التى تزيد من احتمالات انهيار المنحدر: (١) شدة انحدار المنحدر، مثل حركات الصدوع. (٢) إزالة الدعامة من تحت المنحدر مثل تحات النهر أو موجات المحيط. (٣) إضافة كتلة فوق المنحدر مثل ترسيب الرواسب.

وتتحرك بعض الانزلاقات الأرضية فوق سطح انهيار مقوس. ويمكن تقسيم المادة فوق سطح الانهيار إلى كتلة طاردة تبرز بميل من التل وكتلة مقاومة تميل إلى الاستناد على التل. والواقع أن المنحدر موقف متوازن، حيث تريد الكتلة الطاردة أن تنطلق وتتحرك إلى أسفل وإلى الخارج، ولكنها محبوسة بكتلة المقاومة التى تعمل كوتد يمسك بالكتلة الطاردة وبالمنحدر فى مكانهما.

كيف يمكن للبشر أن يحدثوا انزلاقات أرضية؟ يمكننا إضافة حشوة من الأتربة (ردم) على منحدرات التل لتوسيع رقعة الأرض، وبهذا نضيف جديدا إلى الكتلة الطاردة (الشكل ٨-٦). ويمكننا إزالة مواد من قاعدة المنحدر لتوسيع طريق (الشكل ٨-٥ أ) أو لتوسيع رقعة للبناء وبهذا تضعف كتلة المقاومة. وكثيرا ما تتكرر العمليتان فى وقت واحد. وسواء أتمت بقوى الطبيعة أو بالقوى البشرية، فإن أى شىء يزيد من شدة الانحدار يحرك المنحدر نحو الانهيار.

الأسباب الداخلية

فى داخل المواد التى تقع تحت السطح وأسفل المنحدر تحدث عمليات طويلة المدى تضعف الأرض وتؤهلها للسقوط. وتشمل الأسباب الداخلية لانهيار المنحدر: (١) المواد الضعيفة بطبيعتها. (٢) والماء فى وظائفه المختلفة. (٣) وقلة التماسك. (٤) والبناء الجيولوجى المعاكس.

المواد الضعيفة بطبيعتها : وأكثر المواد ارتباطا بالانهيار الأرضى هى معادن الصلصال. فالصلصال أكثر انتشارا فى جميع الرواسب. ويتكون أثناء التجوية الكيميائية(*) عندما تتعرض الصخور فوق السطح للتحلل وتكوّن معادن جديدة تحت ظروف الحرارة والضغط المنخفضين. وتحدث التجوية عندما تحلّل السوائل الحمضية مثل الماء والماء المشبع بثانى أكسيد الكربون والأحماض العضوية المعادن. فمثلا،

(*) تجوية كيميائية Chemical weathering تغيرات تطرأ على الصخور التى تتعرض لمياه المطر المحتوية على بعض الأحماض المخففة الناتجة من إذابة غازات مثل ثانى أكسيد الكربون وثانى أكسيد الكبريت وأكسيد النتروجين (**معجم الجيولوجيا**- المترجم).

تحتوى الصهارة التى بردت على عمق ٥ أميال على معادن تبلورت بالتوازن بفعل الضغط العالي والحرارة التى تتراوح بين ١١٠٠° مئوية و١٦٠٠° مئوية. وعندما تتعرض هذه المعادن فى السطح للعمليات التكتونية والتحات الطويل المدى تفقد توازنها بفعل أحوال الضغط المنخفض والحرارة المنخفضة على السطح. وهذه المواد يحتمل أن تتحول إلى تراكيب ذرية جديدة لتحقق التوازن. ففى عملية التحلل يتحول التركيب الذرى البسيط نسبيا لهذه المعادن مثل الفلسبار(*) إلى تراكيب متنوعة من معادن الصلصال.

ونظرا إلى أن معظم التركيبات الكيميائية للفلسبار والصلصال متماثلة، فإن تركيبهما الداخلي مختلف. فبلورات الصلصال صغيرة جدا - لايراها المجهر العادى. ومعادن الصلصال تبنى مثل الكتاب المجهرى (الشكل ٨-٧). فمن النظرة العليا يتساويان تقريبا فى الأبعاد. ولكن النظرة الجانبية توضح أبعاد أكثر دقة يمكن أن تنقسم كذلك إلى شرائح أرق شبه متوازية مثل صفحات الكتاب. والتركيب الذى يشبه الكتاب يتكون نمطيا فى منطقة التربة حيث يجرد الماء العناصر، تاركا كثيرا من المواقع الذرية التى لم تملأ فى تراكيب بلورية. وهذا يشبه تركيب لعبة تينكر أو تركيبة ليجو عندما يترك عددا هائلا من القطع.

وعندما تستوعب معادن الصلصال مختلف العناصر وتفقد عناصر أخرى فإن قوتها تزداد وتضعف، وتتمدد وتتقلص وقد تمتص الماء وتفقده فيما بعد. وتحدث الظروف الدائمة التغير تنويعات فى قوة معادن الصلصال من شهر إلى آخر ومن سنة إلى أخرى؛ ولهذا فهناك أوقات معينة يضعف فيها التل المحتوى على معادن صلصالية، وحينئذ تحين الفرصة المناسبة للجاذبية لتحث على انهيار المنحدر.

وتقدر خصائص القوة والخصائص الميكانيكية للصخر عادة بمقدار ١٠-١٥٪ من الصخر فى أدق حبيباته حجما. وربما نقصت قوة المعادن الصلصالية بالماء:

(*) فلسبار - فلدسبار feldspar معدن يتركب من سيليكات الألومنيوم وبعض العناصر القاعدية. (**معجم الجيولوجيا**- المترجم)

(١) الذى امتصه خارج الصلصال، وبهذا يفرق الحبيبات، (٢) والذى امتصته الشرائح المتطابقة وبهذا يتمدد.

ومن الأمثلة المنظورة لانهيارات المنحدرات ما يقوم به الصلصال السريع، أكثر الرواسب خفة فى الحركة. والصلصال السريع كثير فى إسكانديناوة وشرقى كندا. وفى شمال شرقى الولايات المتحدة. والصلصال السريع يبدأ على شكل مسحوق ناعم من الصخر تسحقه المثلجات الضخمة من الأرض وترسبه فى البحار القريبة. وتقع رواسب الصلصال والغرين فى تركيبات غير محكمة من البيوت الورقية المملوءة بالماء وبعض أملاح البحر التى تساعد على تماسكه مع بعضه على شكل صلب ضعيف (الشكل ٨-٨). وعندما تتراجع المجلدات ترتفع منطقة الرواسب الصلصالية بخاصية الارتداد المتوازن فوق مستوى سطح البحر (انظر الفصل الثانى). وبمرور الماء العذب فى الرواسب التى ارتفعت يحلل ويزيل كثيرا من ملح البحر «اللاصق» تاركا الصلصال السريع فى: (١) تركيب ضعيف. (٢) معظم حبيباته أقل فى القطر من ٠,٠٠٢ مم. (٣) تزيد محتوياته من الماء عادة عن ٥٠٪. (٤) محتوى قليل من الملح. وباختصار، فإن بناء «المنزل الورقى» يمكن أن ينهار بحادث ارتجاج مثل انفجار بالديناميت أو باهتزاز من مكونات البناء.

وما كان أرضا صلدة قد يتحول مباشرة إلى سائل ويتدفق. وتبدو هذه العبارات مبالغا فيها. فكيف يمكن لأرض كانت تحرث وتزرع ثم يبنى عليها وتحتلها عدة أجيال أن تتحول فجأة إلى سائل يتدفق؛ فانهيار «*المنزل الورقى*» بمحتواه *الكبير من الماء* يكوِّن سائلا طينيا. ولكى نتأكد من ذلك حقا علينا أن نراه رأى العين. شاهد شريط الفيديو بعنوان **Rissa Landslide, Quick Clay in Norway**؛ فهو شريط يخيف مشاهده عندما يرى الأرض الصلبة تتحول فجأة إلى سائل يتدفق، حاملا معه البيوت المشيدة فوقه. فانهيارات منحدرات الصلصال السريع (السواخ) تسببت فى تدمير عدة مبان وفقد الكثير من الأرواح. وهذه الأحداث سوف تتكرر أكثر من مرة طوال عمر الفرد.

وحدث مثال آخر أثناء سقوط الأمطار الغزيرة فى عام ١٩٩٣ بالقرب من جى ليمييه فى أونتاريو فى كندا. ففى ظرف ساعة من بعد ظهر يوم ٢٠ يونية سالت كتلة

حجمها ٣,٥ مليون متر مكعب وتدفقت حاملة معها الغابات وسلسلة الجبال في نهر نيشان الجنوبي (الشكل ٨-٩). وتفيد تقارير الشهود العيان بأنهم رأوا موجات متدفقة من الأرض التي تحمل فوقها الأشجار في النهر محدثة أمواجا ارتفاعها ٣ أمتار (١٠ أقدام) في أعلى النهر وفي أدناه. وهكذا أعيقت التنمية البشرية في المنطقة. فكيف تستطيع العيش في أرض قد تتحول إلى سائل؟

الماء في وظائفه المختلفة : والماء يضعف المواد الأرضية بشتى الطرق: (١) بالوزن. (٢) بالتفاعل مع المعادن الصلصالية. (٣) بتقليل تماسك الصخور. (٤) بالتحات تحت السطح. (٥) بالضغط في مسام الصخور والرواسب.

١- فالماء ثقيل. وعادة ما تكون نسبة المسامية في الصخور الرسوبية من ١٠ حتى ٣٠٪. وعندما تمتلئ هذه الفراغات المسامية بالماء تزيد أوزان المواد إلى حد كبير، ولذلك تزيد الكتل الطاردة من مواد المنحدر وقد تبدأ حركات الكتل.

٢- تمتص المعادن الصلصالية الماء داخليا وخارجيا ويترتب على ذلك ضعف قوتها. فكيف تتشبع المعادن الصلصالية بالماء بسهولة؟ بسبب تفاعل الماء الفريد مع الشحنات. فالماء جزئ يتكون من ذرتين إيدروجين موجبة (H+) متحدتين بذرة واحدة من الأكسيجين سالبة (O-). فالشحنتان الموجبتان من ذرات الإيدروجين تلاشيان الشحنتين السالبتين من ذرة الأكسيجين لتكوِّن جزيئا متعادلا أو غير مشحون. ولكن الماء جزئ ثنائي الأقطاب (الشكل ٨-١٠أ)، بذرات الإيدروجين في جانب (الجانب الإيجابي) وبذرة الأكسيجين في الجانب الآخر (الجانب السلبي). وبذلك تستطيع جزيئات الماء أن تتصل بجانبها الإيجابي بمعادن الصلصال، لأن أسطح الصلصال سالبة الشحنة (الشكل ٨-١٠ب).

٣- ويمكن للماء المتسرب خلال الصخور أن يذيب بعض المعادن التي تربط الصخور بعضها ببعض. وتسبب إزالة المادة اللاصقة خفضا في درجة تماسك الصخور مما يؤدي إلى إضعاف بعض قوة المنحدر ويؤهلها للانهيار بفعل حركة الكتلة.

حدث مثال قاتل في انهيار سد سانت فرانسيس الواقع علي بعد ٧٣كم (٤٥ميلا) من شمالي لوس آنجيلوس في كاليفورنيا. وكان السد كتلة خرسانية ثقيلة،

بنى فى عام ١٩٢٦ على وادى سان فرانسيسكيتوس الضيق. ولسوء الحظ أن يكون جزء من أساس السد واقعا فوق كتلة ضعيفة من الحصى والرمل والطين ضمتهم جميعا طبقة خارجية من الصلصال وربطتهم معادن من الجبس. وفى خلال سنتين حلَّل ماء البحيرة طبقة الجبس الأسمنتية فأضعفت الصلصال مما أدى إلى الانهيار الكارثى للسد. وفى حوالى منتصف ليلة ١٢ مارس ١٩٢٨، انهارت قاعدة السد فانطلق منها حائط من الماء ارتفاعه ٥٦ مترا (١٨٥ قدما)، وتحرك بسرعة ٢٩ كم/ساعة (١٨ ميلا فى الساعة). وجرى الماء المنطلق من السد لمدة ٥ ساعات و٢٧ دقيقة لمسافة ٨٧ كم (٥٤ ميلا) فى نهر سانتا كلارا حتى وصل إلى المحيط الهادى. ونظرا لجريان الماء ليلا فقد أغرق ٤٢٠ شخصا.

٤ - والماء المتدفق تحت الأرض لا يحلل المعادن كيميائيا فقط، بل يحت فيزيائيا المعادن الخالصة. ويمكن للتحات تحت السطح (السحب بالأنابيب) أن يوجد منظومات واسعة من الكهوف الكبيرة (الشكل ٨-١١). فشبكة الكهوف الكبيرة من الواضح أنها تضعف التل.

٥ - يتجمع الضغط فى الماء المحبوس فى ثقوب الصخور نظرا إلى أنه مدفون فى الأعماق. وعندما تتراكم الرواسب فوق السطح يزيد وزنها من الضغط الواقع على الرواسب وماء المسام فى العمق. وتتجمع حبيبات الرواسب من الرمل والطين فى أحجام أصغر فأصغر، بينما الماء الذى لا ينضغط تقريبا يختزن ببساطة الضغط المتجمع. وعندما تقع كومة من الرواسب فوق ماء المسام المضغوط للغاية، تصبح الكتلة بأسرها أقل استقرارا. ويسمى تجمع الضغط فى ماء المسام «الرافعة المائية» التى ترفع الرواسب بالتدريج حتى يبدأ سحب الجاذبية فى الانهيار الشامل. فكثير من حركات الكتل وانهيارات المنحدرات يرجع إلى ضغوط ماء المسام غير العادية.

ويحدث الرمل الناعم السوَّاخ(*) حين تتشبع الغاية حبيبات الرمل بالماء المضغوط. فمثلا، إذا ارتفع الماء خلال الرمل وساعد على رفع حبيبات الرمل؛

(*) رمل سواخ quicksand الرواسب الرملية الدقيقة الجيدة الفرز المنتفخة نتيجة كون جسيماتها مرتبة بحيث تحوى فيما بينها أكبر حجم ممكن من الفراغات، وهذه الرواسب تنكمش سريعا بأقل ضغط يقع عليها فتسوخ فيها أقدام المارة. (**معجم الجيولوجيا**- المترجم)

فإن سحب الجاذبية على حبيبات الرمل يمكن أن يتلاشى بفاعلية، تاركا الرمل بلا قدرة ولا قوة على حمل الحمل (الشكل ٨-١٢). (والواقع أن ضغط ماء المسام (h_w) يساوى وزن الرمل (أ)، تاركا الرمل غير المتماسك بدون جهد للقَص).

وإذا كان الرمـــل الواقـــع تحت ضـغـط المــاء موجودا فـوق منحـدر فسوف يتدفـق للخـارج؛ ولكنـه إذا وقـع فـوق سطح مـسطح فـسـوف يكون رمـلا سواخـا. وعلى الرغم مما تظهر بعض الأفلام السينمائية القديمة، فإن الرمل السوّاخ لا يغرق فيه الناس ولا الأشياء الأخرى. فهو مجرد شىء أشبه بمن يسير فى ماء غليط القوام جدا فإذا وقفت فيـه مـدة طويلـة فإنـك تغرق تحت سطحه. فماذا تعمل إذا تورطت فيه؟ إذا كان الماء ليس عميقا جدا، استلق على ظهرك وافرد ذراعيك حتى لا تغرق؛ فهذا يوزع ثقل جسدك مثل الزورق فى الماء. ثم اطلب من زملائك أن يجذبوك للخروج منه؛ فإذا كنت وحيدا فعليك أن تسلُك جسدك ببطء لتستلقى على ظهرك حتى يتوزع ثقل جسدك، بينمـا تجـذب ساقيـك من قبضـة الرمل السواخ. فالرمل السواخ يحكم قبضته، ولهذا لا تنزعج واضرب بساعديك بشدة لتخرج نفسك. فالبطء مع اليسر هما السبيل إلى الخلاص مع تمديد جسدك حتى يتوزع وزنك.

نقص التماسك

عنـدمـا تـدفن الصخـور فى أعماق عشرات ومـئات وآلاف الآلاف من الأقدام فإنهـا تنضغـط إلى أحجـام أصغـر بثـقـل المـواد التى تعلوهـا. ولكن هذه العملية كذلـك تـؤدى إلى عكس ذلك. وعندمـا تدفن الصخـور فى العمـق تكشفها التعرية وتعرضـها على السطح، فتزول من فوقها الأوزان الثقيلة ويرتخى الصخر المضغوط ويتمدد. ونتيجة للتمدد تحدث شقوق وزيادة فى المسامية. وتقلل عملية التضاغط والتمدد من قـوة الصخـور فاتحـة الطريـق والمكان لمرور المـاء وتخـزينه فيهاجم الصخـور ويزيد من ضعفها.

التركيب الجيولوجي المعاكس

كثير من الكتل في منحدرات التلال تكون ضعيفة نظرا لظروف جيولوجية سابقة. ويوجد الضعف على شكل: (١) سطوح منزلقة سابقة. (٢) تطابق للصخر بميل أقل من المنحدرات. (٣) التركيب الداخلي للصخور مثل نقط الاتصال والشقوق والصدوع القديمة وطبقات الصلصال الرقيقة والاتصال بين الصخور اللدنة والصخور الصلدة.

١ - فالسطوح المنزلقة السابقة ضَعْفٌ يميل إلى إعادة إجهاده ثانية بمرور الزمن. وعندما تنفصل كتلة لأول مرة ثم تنزلق إلى أسفل تميل إلى تكوين طبقة مصقولة زلقة من المواد الأرضية تحتها (الشكل ٨-١٣). وهذه الطبقات المصقولة تصبح زلقة بنوع خاص عندما تبلل. وفي الأماكن المطلوب فيها البناء يحتاج الأمر إلى تمييز هذه الأسطح الزلقة المصقولة وحفرها وإزالتها؛ هذا وإلا استعادت نشاطها عندما تبتل محدثة خسائر مالية كبيرة وجالبة الغم لملاك المباني. وكثيرا ما تبلغنا الأنباء عن تكرار هذا الاحتمال مع الأسف الشديد.

٢ - ربما أحدث اتجاه تطابق الصخور في التل ظروفا إما قوية أو ضعيفة. فعندما تميل طبقات الصخور بزوايا تقل عن درجة انحدار التل، تكون الساحة مهيأة للانزلاق وحركات الكتل (انظر الجانب الأيمن من المنحدر في الشكل ٨-١٢). وتعرف هذه الحالة بالأساس الذي يتخلله ضوء النهار حيث تكون أطراف طبقات الصخر اللطيفة الميل معرضة لضوء النهار في المنحدر الحاد. وفي الجانب الآخر من التل ذاته تميل طبقات الصخور ذاتها بزاوية حادة مما يعرقل الانزلاق الكبير عن المبادرة بالحركة والانطلاق. وهذه العلاقة الوثيقة يجب وضعها في الاعتبار عند اختيار موقع لمنزل أو بناء.

٣ - وبالصخور نقاط ضعف تؤدي إلي انهيار المنحدرات حيث: (١) تكون الصخور غير متماسكة مع بعضها البعض. (٢) أو ربما تهيئ الطبقة الصلصالية أساسا لسطح منزلق. (٣) أو قد تنزلق طبقات الصخور اللدنة على مواد قوية. (٤) أو تنقسم نقط الاتصال وتنفصل الصخور. (٥) أو يعمل صدع قديم كسطح زلق.

محفزات لحركات الكتل

لا تضعف المنحدرات عادة لسبب واحد. فمعظم الإجهادات تحدث لعدة أسباب. فعلى المدى الزمنى البعيد يتكون المنحدر وتستمر الجاذبية فى السحب ويظل الماء ينقع حتى تضعف قوتها. وفى مناسبات عديدة يجهد المنحدر. ثم يأتى على المنحدر إجهاد آخر مثل الأمطار الغزيرة فينهار المنحدر فى آخر الأمر فى حادث كبير. فهل كان آخر إجهاد مثل التشبع بالأمطار الغزيرة هو سبب الانزلاق؟ أم كان مجرد حافز لحركته، مثل الحكمة القائلة: القشة التى قسمت ظهر البعير؟ والواضح أن الأمطار كانت حافزا أو سببا مباشرا لحركة الكتلة.

ومن المفيد أن نميز بين الأسباب المباشرة والأسباب الأساسية. فمجموع الأسباب الأساسية تدفع المنحدر إلى حافة السقوط. ثم يأتى السبب المباشر فيحفز الحركة وتتضمن الحوافز الشائعة لحركات الكتل الأمطار الغزيرة والزلازل وذوبان الجليد وأكثر من ذلك بكثير مشروعات البناء التى يقوم بها الناس.

حاشية جانبية: تحليل استقرار المنحدرات

يبدأ تحليل المنحدرات لمقاومة انهيارها عادة باستخدام معادلة كولومب تيرزاغى:

$$S = C + (P - h_W) \tan phi$$

حيث S هى مقاومة القص، مجموع الخصائص التى تحفظ الكتلة فى مكانها؛ C هى التماسك، مقياس كيفية تماسك المادة بالتفاعلات التى تتم بين جزيئاتها (مثال، لا يوجد تماسك إلا قليلا بين حبيبات بلورات الرمل أو المرو أو الكوارتز(*)، ولكن هناك تماسكا شديدا بين رقائق الصلصال)؛ P هى وزن المواد الصلبة والماء فوق السطح

(*) المرو (كوارتز) quartz معدن عديم اللون إذا كان نقيا. تركيبه الكيميائى أكسيد السيليكون SiO_2، يتبلور فى النظام السداسى، درجة صلادته ٧ وكثيرا ما يحمل شوائب تعطيه ألوانا مختلفة، وعندها يسمى بأسماء أخرى تعتبر ضروبا من معدن المرو. (**معجم الجيولوجيا**- المترجم)

المحتمل انزلاقه؛ h_w هو ارتفاع عامود الماء مضروبا فى كتلة وحدة الماء؛ tan phi هى ظل زاوية الاحتكاك المماس (الداخلى) – وتقاس زاوية ميل السطح بالدرجات من المستوى الأفقى.

فماذا يعنى كل هذا؟ قوة جانب التل أو كتلة المادة تأتى من: (١) تماسكها، كيف تلتصق جيدا ببعضها البعض، بالإضافة إلى (٢) وزن جميع موادها تحت سحب الجاذبية. وعناصر الاستقرار هذه تتشعب بالآتى: (أ) ضغط ماء المسام، بالإضافة إلى (ب) الزاوية التى تتشقق فيها كتلة الصخر، زاوية انحدار السطح. وزاوية السقوط قليلة أو قريبة من الأفقية بالنسبة للمواد الضعيفة، مثل الصخر الرسوبى الغنى بالصلصال، وتكون حادة أو قريبة من الرأسية بالنسبة للصخور الصلدة مثل الجرانيت.

وعندما يعادل ضغط الماء المسامى (h_w) وزن المواد التى فوقه (P)؛ فإن قوة مقاومة القص الوحيدة للمادة تأتى من التماسك. فإذا كانت هذه المواد ذات قوة تماسك قليلة مثل رماد المرو، فحينئذ لا تتوافر فى المادة القوة الفعالة فتتعرض للسقوط. ومثال ذلك الرمل السواخ.

تصنيف حركات الكتل

من العناصر المهمة فى تحديد النماذج المختلفة لحركات الكتل سرعة الحركة والمحتوى من الماء (الشكل ٨-١٤). فالكتل البطيئة الحركة تحدث قدرا هائلا من الدمار والخسائر فى الأموال، بينما الكتل السريعة الحركة لاتدمر فقط بل تقتل كذلك (الجدول ٨-١).

وحركات الكتل السريعة الحركة كانت ولا تزال فتاكة على المدى الطويل فى جميع أنحاء العالم (الجدول ٨-٢).

والنماذج الرئيسية لحركات الكتل إما متجهة إلى أسفل مثل السقوط أو الخسف (الهبوط)؛ أو متجهة إلى أسفل وإلى الخارج مثل الانزلاق والتدفق (الشكل ٨-١٥). فالسقوط متجه إلى أسفل من مكان طبوغرافى مرتفع التضاريس مثل الجرف أو الجبل؛ بينما الخسف متجه إلى أسفل عن طريق انهيار السطح. ويحدث الانزلاق عندما تنزلق كتلة شبه متماسكة إلى أسفل وإلى الخارج فوق سطح أسفل من المنهار.

ويحدث التدفق عندما تظهر الكتلة المتحركة على شكل سائل لزج يتدفق إلى أسفل وإلى الخارج فوق المناطق الريفية. وسوف نشرح نماذج الحركات في سلسلة من الأمثلة مثل السقوط والتدفق والانزلاق والخسف.

السقوط

يحدث السقوط عندما تنفصل الكتل الصخرية العالية عن نقط الاتصال أو الأساس أو الإجهادات الأخرى (الشكل ٨-١٦). فعندما تنفصل كتلة تسقط غالبا إلى أسفل في الهواء بالسقوط الحر، وبعد ارتطامها بالأرض تتحرك بالوثب أو بالتدحرج. وحوافز السقوط ربما كانت الأمطار الغزيرة أو خوابير الجليد أو الزلازل أو غير ذلك. وربما كنت أنت عنصرا محفزا لسقوط صغير في وقت أو في آخر!

المتنزه الوطني في يوسمايت في كاليفورنيا : في فصل الصيف يمتلئ وادي يوسمايت بالزوار الذين يملؤهم الانحدار الشديد لحواف الوادي وشلالاته رعبا. ولكن الحواف الحادة الانحدار هي الأخرى مواقع لسقوط الصخور بفعل الجاذبية. ففي الساعة ٦,٥٢ من صباح يوم ١٠ يوليو ١٩٩٦ وتحت نقطة المجلدة انفصل عن جدار الوادي العميق جرف وزنه ١٦٢٠٠٠ طن من صخر الجرانيت وانقسم إلى كتلتين منفصلتين وسقطا بفاصل بينهما ١٤ ثانية. انزلق كل منهما إلى أسفل من ١٦٥ مترا (٥٤٠ قدما) ثم اندفع في الهواء لمسافة ٥٠٠ متر (١٦٤٠ قدما) وسقط في خط مرور مقوس بسرعة ٢٧٠ ميلا في الساعة قبل أن يضرب قاع الوادي ويتحطم مكونا سحابة مرعبة من فتات الصخور وتدحرجت عبر الوادي وانفلقت على الحائط المقابل للوادي قبل أن تستدير وتستقر في قاع الوادي الضيق العميق (انظر ملف الصور ص ١٥٠ لهذا الحادث في الفصل الثاني). دفعت الكتلة الصخرية العملاقة الساقطة الهواء أمامها في عاصفة هوجاء أسقطت ما يزيد على ١٠٠٠ شجرة ناضجة وغطت ٢٠ إيكر(*) بغطاء سمكه بوصة من الصخور المنسحقة. وارتطمت الكتل الصخرية الساقطة بالأرض

(*) الإيكر = ٠,٤٠٥ هكتارا = ٤,٠٤٧ مترا مربعا. (المترجم)

محدثة زلزالا قوته + ٣ وعامودا ارتفاعه ١ كم من الأتربة التى حجبت أشعة الشمس. ورغم هذا القدر الهائل من الطاقة الناجمة عن هذا السقوط المحطم المتدفق قتل شخص واحد - عمره ٢٠ سنة سحقته شجرة أطاحت بها موجة الهواء العاتية التى تقدمت كتلة الصخر الساقطة.

الانزلاق

الانزلاقات أو الانزلاقات الأرضية هى تحركات فوق واحد أو أكثر من الأسطح المنهارة (الشكل ٨-١٥). فالأسطح المنهارة أساسا إما أن تكون نمطيا: (١) مقوسة على شكل مقعر من أعلاه أو (٢) مسطح تقريبا.

الانزلاقات الدورانية

تتحرك الانزلاقات الدورانية إلى أسفل وإلي الخارج على سطح منزلق مقوس (الشكلان ٨-٥ ، و٨-٦). فالحركة دورانية حول محور مواز للمنحدر. ويمكن تقريب وضع مركز الدوران بثقب قطاع مقطعى بنقطة البوصلة ثم إدارة البوصلة علي المحور فى قوس لترسم سطح الانهيار الأساسى (الشكل ٨-١٧ أ). وهذا هو تحليل الدائرة السويدية لاستقرار المنحدر المستخدم فى حساب قوى الطرد مقابل قوى المقاومة بمفهوم رقمى عن كيف يوشك المنحدر على السقوط. فعندما يحدث تدهور على سطح مقوس تتحرك الرأس إلى أسفل وتدور نمطيا إلى الخلف (الشكل ٨-١٧ ب). ويكون الماء الساقط أو المتدفق فوق رأس الكتلة المنزلقة بركة فى الحوض الذى يتكون من الميل الخلفى. ويغطس الماء المحبوس فى الكتلة الهابطة مسببا مزيدا من عدم الاستقرار والحركة. ونظرا إلى أن المنحدر الشديد فى رأس الكتلة الهابطة يكون عموديا تقريبا، فهو غير مستقر، ولهذا يهيئ الساحة لمزيد من حركة الكتل. وتتحرك مقدمة قدم الكتلة الهابطة إلى أعلى وتركب فوق سطح الأرض (الشكل ٨-١٧ب).

إينسينادا فى باجا كالفورنيا : تتضح معالم الصورة للانزلاق الدورانى بالكتلة المنحدرة فى إينسينادا فى باجا كاليفورنيا فى عام ١٩٧٦. بدأت تتكون الشقوق المقوسة بطول بضع مئات من الأمتار علي منحدر أحد التلال على ارتفاع من ٩٠ حتى ١٢٠ مترا (من ٢٩٥ حتى ٤٠٠ قدم) فوق سطح البحر. وكلما اتسعت الشقوق زاد اهتمام معظم المواطنين بهذا الإنذار الطبيعى وقاموا بإخلاء منازلهم. ولم يغادر كل الناس، ولكن شخصين اختنقا أثناء نومهما ليلا عندما مزقت حركة الانزلاق البطيئة أنابيب الغاز الطبيعى داخل بيتهما. فالمنزلق الهابط ترك رأسا شديدة الانحدار (الشكل ٨-١٨). وحملت كتلة المنزلق معها قطاعا طوله ٢٧٥ مترا (٩٠٠ قدم) من الطريق السريع رقم ١ فى المكسيك نحو المحيط الهادى (الشكل ٨-١٩). وبدت مقدمة القدم بارزة إلى أعلى بطبيعة الحال عندما رفعت قاع البحر ٩ أمتار (٣٠ قدما) فوق سطح البحر (الشكل ٨-٢٠). وقضى السكان المحليون وقتا قصيرا فى جمع الحيوانات البحرية فى قاع البحر الذى ارتفع فوق مستوى سطح البحر.

ورغم أن سطح الانهيار الأساسى فى الدوران الانزلاقى مقعر فى اتجاه الحركة، فيندر أن يكون قوسا تاما كما رسمته طريقة تحليل الدائرة السويدية (الشكل ٨-١٧ أ). فلماذا؟ لأن سطح الكسر يقطع عادة مواد مختلفة الخواص والعناصر التى تؤثر على مسار التمزق. والفجوات مثل الصدوع ونقط الاتصال وتطابق الصخور ووجود العروق الغنية بالصلصال قد تغير شكل سطح الانهيار. وقد تحوِّل انهيارات المنحدرات التى تبدأ على شكل انزلاقات دورانية الانزلاق السفلى إلى انزلاقات تحويلية.

الانزلاقات التحويلية

وفى الانزلاقات التحويلية تتحرك الكتل إلى أسفل وإلى الخارج بالانزلاق على أسطح الضعف مثل الصدوع ونقط الاتصال والطبقات الغنية بالصلصال والصخور اللدنة التى تنزلق على صخور صلدة والصخور الصلدة التى تنتشر متباعدة بحركات الصخور اللدنة التى تحتها. وربما يتحرك الانزلاق التحويلى طالما وقع على سطح يميل إلى أسفل مع بقاء كتلته الطاردة. وفى المقابل تتحرك الانزلاقات الدورانية مسافة

قصيرة فقط؛ وتميل حركتها القوسية إلى استعادة توازنها فورا بسبب تناقص الكتلة الطاردة وتزايد كتلة المقاومة.

وتبدو كتل الانزلاقات التحويلية في عدة مظاهر: (١) فربما ظلت متماسكة أساسا على شكل انزلاقات متكتلة. (٢) وقد تتشوه وتتحلل الكتلة المنزلقة لتكوِّن انزلاقا للحطام. (٣) وربما يحدث انتشار جانبي حيث تنهار وتتدفق المواد التي تحتها، وبهذا تنفصل وتتحرك المواد المتماسكة التي فوقها. ويمكن توضيح فكرة تنوع أساليب الانزلاقات التحويلية باستخدام أمثلة معينة.

بوينت فيرمين في كاليفورنيا : من الأمثلة الرائعة لانزلاق الكتلة ما وقع في شبة جزيرة بالوس فيرديس في لوس آنجيلوس، ففي الشرق مباشرة لبوينت فيرمين تحتوي الصخور على طبقات من الحجر الرملي والحجر الطيني الغني بالصلصال تميل نحو البحر من ١٠ حتى ٢٢ درجة (الشكل ٨-٢١). بدأ في يناير ١٩٢٩ يحدث انزلاق كتلة طوله نصف ميل لكتلة من الأرض مساحتها ٥ إيكر أخذت تنزلق ببطء نحو البحر من صخر الأساس المائل فوق طبقة زلقة خاصة من الصلصال. فسطح الانزلاق يقع على ميل غير مدعوم تحت الماء، ولهذا لا توجد كتلة مقاومة تمسك الكتلة في مكانها. وظلت كتلة الانزلاق أساسا متماسكة أثناء الحركة. ومنذ يناير ١٩٢٩ حتى يونية ١٩٣٠ انتقلت الكتلة من ٢ حتى ٢,٥ أمتار (من ٦,٥ حتى ٨ أقدام) في اتجاه البحر. ولم يقتل أحد في هذه الحركة البطيئة ولكن البيوت الواقعة فوق جروف البحر على ارتفاع ٣٠ مترا (١٠٠ قدم) انفتلت ببطء وتحتمت إزالتها (الشكل ٨-٢٢). ويبدو أن الحركة تحفزت من الماء الزائد من ري الحوض الذي تسرب إلى الطبقات الضعيفة الصلصال التي تتمدد وتفقد قوتها حتى يبدأ الانزلاق. وتزداد معدلات التسارع في حركات الانزلاق بعد الزلازل.

ڤايونت في إيطاليا في ١٩٦٣ : ومن الأمثلة المذهلة للدمار الذي يمكن أن يحيق بأسطح المنحدرات، ما حدث في سد ڤايونت في إيطاليا في ١٩٦٣ بانزلاق حطام ضخم. فالسد مبني في ١٩٦٠ عبر واد جبلي عميق في شمال شرقي إيطاليا بالقرب من النمسا وسلوفينيا. وحجز الخزان ١٥٠ مليون متر مكعب (٣١٦٠٠٠ إيكر قدم)

من الماء. وتوجد عدة عناصر خطيرة فى الموقع: (١) طبقات صخور رسوبية مطوية على شكل يشبه الحوض (قعيرة) لها صخور أساسية مسطحة على كلا الجانبين لوادى النهر (الشكل ٨-٢٣). (٢) شقت مجموعتان من الشقوق الصخور ففصلتها. وهذه الشقوق تكونت فى البضع آلاف سنة الأخيرة عندما ارتدت الصخور القريبة من السطح إلى أعلى نظرا لزوال المجلدة الواقعة فوقها. وعندما زالت المجلدة قطع النهر الوادى الضيق العميق على شكل حرف V وتشققت جوانب الوادى عندما تمددت إلى الفراغ الفسيح الذى تكوَّن حديثا فى الوادى. (٣) وحدثت بعض الانزلاقات فى التلال منذ زمن بعيد تاركة أسطحها زلقة قديمة فى الصخور. (٤) وتحتوى بعض طبقات الصخور على عروق رقيقة من الصلصال الضعيف. (٥) والحجر الجيرى فى التلال به عدة كهوف كبيرة متحللة فيه. (٦) وبعد بناء السد شبَّع الماء الذى ملأ الخزان الصخور فى مقدمة أقدام المنحدرات محدثا ارتفاعا فى ضغط ماء المسام. وهذه الظروف المعاكسة فى موقع السد تضافرت مع غيرها من الأمطار الغزيرة فى أشهر أغسطس وسبتمبر وأكتوبر ١٩٦٣؛ فأضافت الأمطار أوزانا هائلة للماء فى المنحدرات غير المستقرة. كان من المتوقع أن تحفز الأمطار الانزلاق الأرضى ولكن حجمها كان مفاجأة فتاكة.

ففى مساء يوم ٩ أكتوبر ١٩٦٣ عاد معظم سكان القرى إلى منازلهم أثناء الأمطار الغزيرة؛ وكان الكثيرون منهم يثرثرون عن أحداث مباريات كأس كرة القدم. وفى الساعة ١٠,٤١ مساءً انهار الجدار الجنوبى لخزان ڤايونت بشدة وبسرعة محدثا حوالى ٣٠٠٠ قتيل فى الدقائق السبع التالية. كانت الكتلة المنزلقة طولها ١,٨ كم (١,١ ميلا) وعرضها ١,٦ كم (١ ميل واحد) وحجمها يتجاوز ٢٤٠ مليون متر مكعب وملأ جزءا من الخزان بحطام الصخور لارتفاع ١٥٠ مترا (٥٠٠ قدم) فوق مستوى سطح الماء (الشكل ٨-٢٤). وضرب الانزلاق الأرضى القاع بشدة محدثا زلزالا شعرت به منطقة كبيرة من أوروبا. واستغرقت حركات الكتلة أقل من ٣٠ ثانية من بدايتها حتى نهايتها بسرعة ٣٠ مترا فى الثانية (٦٨ ميلا فى الساعة). وأزاحت الكتلة المنزلقة حجما هائلا من الهواء، اندفع إلى الخارج بقوة حطمت النوافذ وجردت البيوت من سقوفها.

حدثت معظم الوفيات والدمار من إزاحة ماء الخزان. إذ تسلق جدار من الماء فوق الجانب الشمالى للخزان على ارتفاع ٢٤٠ مترا (٧٨٠ قدما) فوق منسوب الماء. وفاضت أمواج تالية من الخزان على ارتفاع ١٠٠ متر (٣٢٨ قدما) فوق قمة السد. وظهرت الأمواج المتلاطمة من وادى ڤايونت على شكل حائط من الماء ارتفاعه ٧٠ مترا (٢٣٠ قدما) وصفع فى مواجهته مدينة لونجارون (الشكل ٨-٢٤). وفى ٦ دقائق اجتاحت لونجارون المياه الغاضبة. وعندما مر الماء قتل ٢٠٠٠ نسمة.

وفى الطرف العلوى من الخزان ضربت موجة لأول مرة الحائط الشمالى من وادى ڤايونت فدمرت المنازل؛ ثم ارتدت إلى الجنوب فضربت شبه جزيرة بينيدا حيث ارتدت ثانية. وفى هذا الوقت، ضربت الموجة الجانب الشمالى بطول الخزان كله وتجنبت قرية إيرتو المخاطر قبل أن تضرب بكامل قوتها سان مارتينو (الشكل ٨-٢٤).

وما الذى قتل ٣٠٠٠ نسمة؟ كتلة هائلة من الصخر تحركت أسفل سطح منحدر على شكل انزلاق تحويلى ودفعت حائط الماء الفتاك خارج الخزان. ولا يزال السد قائما (وهو نجاح فى هندسة البناء)، ولكن الانزلاق الأرضى أفرغ الخزان من الماء (وهو فشل جيولوجى). واعتبر هذا الحادث أسوء كارثة لسد فى العالم.

جروس ڤينتر فى يومينج فى ١٩٢٥ : يجرى نهر جروس ڤينتر جنوبى المنتزه الوطنى فى يلوستون كرافد من روافد نهر سنيك. ويعتبر الوادى كله تقريبا متحفا للانزلاقات الأرضية لأن طبقات صخوره الرسوبية تميل من ١٥ حتى ٢١ درجة منحدرة نحو الوادى (الشكل ٨-٢٥). ومعظم الصخور المائلة أساساتها من الحجر الرملى والحجر الجيرى. وبعض طبقات الصلصال. وجميع الصخور أضعفتها التجوية والتمزق والتحلل خلال زمن طويل من التعرض للأحوال الجوية.

وفى ١٩٢٠ بدأ جزء من حائط الوادى يهبط إلى أسفل وإلى الخارج، كما هو واضح من الشروخ الواقعة فوق أعلى أنف جبل شيب الشمالى. وكشف أحد المواطنين المقيم عند قاعدة المنحدر عن الحادث الذى بدأ يتكشف رويدا رويدا، فباع مزرعته قبل خمس سنوات من الانزلاق الذى دفنها. وبعد سنوات من الضعف وبعد ظهر يوم ٢٣ يوليو ١٩٢٥ انزلقت فجأة كتلة قدرها ٣٨,٢ مليون متر مكعب فى الوادى وسقطت من

ارتفاع ٦٤٠ مترا (٢١٠٠ قدم) وهى تحمل غابة من الصنوبر الكثيف لم تصب بأذى. طار حطام الانزلاق أكثر من ١٠٠ متر (٣٥٠ قدما) فوق الحائط الشمالى للوادى ثم ارتد جزء من الانزلاق مكوِّنا سدا عبر النهر ارتفاعه ٧٥ مترا (٢٥٠ قدما) (الشكل ٨-٢٦). وفى الوقت ذاته كان النهر فى حالة فيضان. وقفلت الكتلة المنزلقة الكبيرة مجرى النهر تماما، فبدأت تمتلئ بالماء بحيرة حديثة التكوين. وفى ثلاثة أسابيع بلغ عمق البحيرة ٦٠ مترا (٢٠٠ قدم)، واتساعها ٠,٨ كم (١/٢ميل) وطولها ٥ كم (٣ أميال)، ومسطحها ١١٠٠٠ إيكر.

كان السد مصنوعا من كسر الحجر الرملى والحجر الجيرى مكونا حاجزا مساميا بدأ يتسرب الماء من مسامه على الفور. وفى أواخر الصيف كانت كمية الماء المتسرب من السد أكبر من كمية الماء الذي يصبه النهر فى البحيرة. وبحلول ربيع ١٩٢٧ ظل السد والبحيرة مستقرين لمدة سنتين تقريبا وظن كثير من الناس ومنهم المهندسون أن الموقف مستقر وآمن. ولكن شتاء ١٩٢٦-١٩٢٧ أتى بثلوج كثيفة على جبال جروس ڤينتر. وفى مايو ١٩٢٧ أدى سقوط الأمطار الغزيرة إلى التسارع فى ذوبان الثلوج محدثا ارتفاعا سريعا فى منسوب الماء فى البحيرة. وفى يوم ١٨ مايو فاض ماء البحيرة من فوق السد. ولاحظ سكان مدينة كيلى (٦٥ نسمة) الواقعة خلف السد ارتفاعا فى ماء النهر فبدؤا فى الجلاء عن مدينتهم. وغادر معظمهم فى أمان ولكن سبعة أشخاص كانوا يحملون ما خف حمله وغلا ثمنه غرقوا عندما دهمهم جدار يرتفع ٥ أمتار (١٦ قدما) من الماء تدفق فجرفهم ودمر مدينتهم. وشق ماء البحيرة الفياض قناة فى السد اتساعها حوالى ٩٠ مترا (٣٠ قدم) وعمقها ٣٠ مترا (١٠٠ قدم). وهذه القناة سمحت بالتدفق السريع للماء بحوالى ٤٣٠٠٠ إيكر قدم؛ فانخفض منسوب البحيرة حوالى ١٥ مترا (٥٠ قدما).

التدفقات

والتدفقات حركات للكتل تسلك سلوك السوائل. وتتراوح المواد المتدفقة من الجلاميد الضخمة إلى الرمل والصلصال والجليد والثلوج أو خليط من ذلك كله. ويتنوع

المحتوى من الماء بين الجاف والرطب الموحل. وتتفاوت سرعتها من التحرك بسرعة لاتكاد تلاحظ إلى التحرك بسرعة ١٧٥ ميلا فى الساعة والسرعات الحسابية التى تتجاوز ٢٠٠ ميل فى الساعة. وفى الكتلة المتحركة تسود حركات القصور الذاتى وتغيب الأسطح الزلقة أو تكون لفترات قصيرة.

وهناك تدرج تام من انزلاقات الحطام السابق شرحها، التي تتحرك فوق أسطح زلقة إلى تدفقات الحطام التى ليس لها سطح أساسى زلق. وقد استخدمت عدة مسميات لوصف التدفقات، مثل تدفقات الراسب الطفلى(*) (الطيس- اللويس) وتدفقات التربة وتدفقات الطين وتدفقات الحطام وجلاميد الحطام. وتوضح لنا الأمثلة النماذج المختلفة للتدفقات.

تدفقات طفلية فى مقاطعة جانسو فى الصين

كانت رواسب الغرين الحرة (الرواسب الطفلية) عنصرا مهما فى كارثة ١٩٢٠ فى مقاطعة جانسو بالصين. حفز الحادث زلزالٌ كبيرٌ. ففى ليلة ١٦ ديسمبر ١٩٢٠ هبت ريح صرصر باردة وعاصفة ترابية. وفى الساعة ٩,٣٠ مساءً تقريبا زلزلت الأرض لمدة ٣٠ ثانية فخركت الأحداث التى يطلق عليها الصينيون **شان تسولياو** أى «سارت الجبال». وفى منطقة مساحتها ١٦٠ × ٢٧٥ كم (١٠٠ × ١٧٠ ميلا) تدفقت تلال من الرواسب الطفلية الجافة والضعيفة الاستقرار. وتحركت جانبيا تلال بأسرها مئات الأمتار، بينما التلال الأضعف تفرقت وتمزقت ورشت فى الهواء سوائل غرينية تدفقت فى الأودية فدفنت القرى وقتلت ٢٠٠,٠٠٠ نسمة. وهذه التدفقات من الراسب الطفلى الفتاكة تحركت بسرعة فى هيئة تدفقات جافة من حبيبات الغرين الدقيقة. فكتل الرواسب الطفلية تتدفق جافة ولكنها تتحرك مثل الماء فى دوامات مائية ودوامات هوائية.

(*) (١) طيس (لويس) loess رواسب تتكون من حبيبات دقيقة جدا من الغرين والمرل ولونها أصفر وهى ليست طباقية وتكون تربة خصبة. (**معجم الجيولوجيا**- المترجم)

(٢) اللويس : رسوبيات تكونت من طمى جلبته الرياح. (**ما هى الجيولوجيا؟**- المترجم)

تقول إحدى الروايات التى وصفت الحادث فى «وادى الموت» أن سبعة تدفقات كبيرة للرواسب الطفلية دفنت جميع الكائنات الحية تقريبا. ولكن ثلاثة من الناجين كانوا واقفين على أحد جوانب التل عبروا الوادى على كتلة خشبية طفت فوق سطح التدفق الطفلى ودهمتهم دوامة عملاقة حيث تقابلت ثلاثة تدفقات طفلية فأدارتهم إلى منحدر تل آخر. وكان بستانهم ومنزلهم وأرضهم لا تزال سليمة فبدؤا يفلحون أرضهم ببساطة. لقد شاءت لهم الأقدار أن يمروا بالحادث فوق أرض صلبة، بينما الآلاف من جيرانهم دفنوا أحياء.

تدفق ترابى فى بورتوجيز بيند فى كاليفورنيا

ومن أمثلة التدفقات الترابية القديمة الفادحة الخسائر التى لا تزال تتحرك ما حدث فى منطقة بورتوجيز بيند فى لوس آنجلوس. كانت بعض طبقات الصخور التحتية غنية برماد البراكين الذى تحول إلى صلصال بركانى(*) (بنتونايت) سريع التأثر بالتشبع بالماء والتمدد الذى ينتج عنه فقد القوة.

وفى منطقة بورتوجيز بيند انحنت الصخور فى منعطف(**) مقعر واسع حيث تميل طبقات الصخور فى اتجاه البحر (الشكل ٨-٢٧). وتنحت أمواج المحيط قدم المنحدر، وتزل الدعامة السائدة مما يساعد المنحدر على التحرك ببطء إلى أسفل. وهذا الموقع عريق فى التدفقات الترابية كما يتضح ذلك من التضاريس الطبوغرافية من الصخور المتدحرجة والروابى التى تمتد حوالى ٣٠٠ متر (١٠٠٠ قدم) فى البحر، وتشبه بساطا مجعدا ذا منخفضات ومنحدرات شديدة مقوسة «وبحيرات» وكتل قائمة ومنحدرة ومواد شديدة التفتت ومواد صلصالية لدنة ومنسحقة وكلها توضح تكوينات

(*) بنتونيت bentonite نوع من الطين يتكون من تحلل الرماد البركانى وخاصة من معدنى المونتموريللونيت montmorillonite والبيدلليت beidellite وتعالج به منتجات البترول لتحسين لونها. (**معجم الجيولوجيا**- المترجم)

(**) انعطاف (حدب) warp (١) (ب) طى صغير فى الطبقات الرسوبية. (**معجم الجيولوجيا**- المترجم)

التدفقات (الشكل ٨-٢٨). وقد استخدمت المنطقة فى الزراعة الآلية - وهو استثمار طيب للأرض غير المستقرة. فليس هناك ضرر بالغ من التشوه البطئ للحقل المحروث.

وفى الخمسينيات من القرن العشرين بنى فى الأرض المزروعة ١٦٠ منزلا فاخرا فوق المنحدر النشيط. ولم يكن لهذه المنازل صرف صحى؛ بل كانت الفضلات السائلة تصب فى خزانات عفنة تحت الأرض. وفى عام ١٩٥٦ بدأ ٢٥٪ من المنطقة (٤٠٠ إيكر) تتحرك ثانية. إذ تحركت فى الشتاء أسرع (حتى بوصة فى اليوم) وفى الصيف أبطأ. وتناسبت الحركة طرديا مع سقوط الأمطار بزمن يقدر بشهر أو شهرين حتى يتسرب ماء المطر تحت السطح لتمتصه المعادن الصلصالية، وفى ثلاث سنوات تحركت أجزاء من المنطقة أكثر من ٢٠ مترا (٧٠ قدما) فى اتجاه البحر (الشكل ٨-٢٩).

وحزن ملاك المنازل؛ حيث أن بيوتهم الجميلة المطلة على المحيط تصدعت. وأدت هذه الخسائر الاقتصادية إلى رفع دعوى قضائية. فعلى من يقع اللوم؟ (١) انحدار طبقات الصخور فى اتجاه البحر؛ أم (٢) الرواسب الصلصالية البركانية التى امتصت كثيرا من الماء فضعفت؛ أم (٣) أمواج المحيط التى نحتت قدم المنحدر فخلطت مياه المحيط بالطين والمواد المنحوتة من كتلة المقاومة؛ أم (٤) وجود أسطح زلقة نشيطة وقديمة ذات منخفضات تتراكم فيها المياه؟ فكل من هذه الأسباب كان كافيا للإحجام عن البناء فى الموقع الأول، ولكن ملاك المنازل ظلُّوا يبحثون عن شخص ثرى قادر على رفع الدعوى، حتى ظهر لهم أحد الأشخاص الأثرياء فتحمل المسئولية ودفع كل المستحقات؛ وذلك هو محافظ لوس آنجلوس. فما هى الجريمة؟ لقد أضافت المحافظة بعض النفايات إلى رأس المنحدر عند بناء كرينشو بوليفارد (انظر الجانب العلوى الأيمن للشكل ٨-٢٨)؛ فكانت هذه النفايات عنصرا صغيرا فى تردى الموقف، ولكن المحافظة ثرية ولهذا تحملت المسئولية ودفعت تعويضات لأصحاب المنازل.

تدفقات فتاتية بعيدة المدى

تشتمل الكثير من حركات الكتل على مزيج من السقوط والانزلاق والتدفقات فى أوقات مختلفة وأماكن متنوعة على طول طريق سيرها. ومن الأمثلة الشائعة، الهبوط

الذى يتحرل إلى تدفقات ترابية، وانزلاقات الحطام التى تصبح سقوطا للصخور، والهبوط الذى ينتهى على شكل انقلابات. ولكن هناك حركة مركبة أخرى أكثر إثارة منها جميعا. تلك هى سقوط الصخور الكبيرة التى تتحول إلى تدفقات للحطام عالية السيولة سريعة الحركة وتسير مسافات بعيدة فتقتل بأعداد هائلة.

وتميل سقطات الصخور والجلاميد الصغيرة الحجم إلي التدفق أفقيا لمسافات تقل عن ضعف مسافة سقوطها الرأسية؛ وهذه المسافات القصيرة ترجع إلى عوامل الإبطاء من الاحتكاك الداخلى والخارجى. وعلى أية حال، فإن سقوط الصخور الكبيرة جدا بأحجام تزيد عن مليون متر مكعب عادة ما يسير مسافات بعيدة؛ فبعضها يسير حتى مسافة تصل إلى ٢٥ ضعفا لمسافة السقوط الرأسية. وهذه التدفقات الطويلة المدى، التى تسمى حركات سريعة وبعيدة المدى (sturzstroms وتعنى sturz بالألمانية السقوط وstrom الجريان)، تشتمل على معدلات قليلة من الاحتكاك الداخلى.

وشوهدت الحركات السريعة البعيدة المدى تتحرك بمعدلات تصل إلى ٢٨٠ كم/ساعة (١٧٥ ميلا فى الساعة) وتجرى فوق التلال الكبيرة وسلاسل الجبال التى تقع فى طريق سيرها.

حادث بلاكهوك فى كاليفورنيا : ومن الأمثلة الجميلة لتدفقات الحطام القديمة ذات المدى البعيد الحركات السريعة البعيدة المدى فى بلاكهوك (الشكل ٨-٣٠). سقطت هذه الكتلة الصخرية الهائلة من جبال سان بيرناردينو منذ ١٧٠٠٠ سنة مضت وتدفقت فوق صحراء موجافى شرقى لوس آنجيلوس. وحركة بلاكهوك السريعة البعيدة المدى يبلغ حجمها ٣٠٠ مليون متر مكعب وسقطت عموديا وبانحدار شديد من جبل بلاكهوك من ارتفاع ١,٢ كم (٠,٧٥ ميلا) ثم تدفقت ٩ كم (٥,٦ أميال) لتشكل لسانا مفصصا من حطام الصخور سمكه من ١٠ حتى ٣٠ مترا وعرضه ٢ كم وطوله ٧ كم. وسار تدفق بلاكهوك مسافة تزيد ٧,٥ ضعفا عن مسافة سقوطه وتقدر سرعته بحوالى ١٢٠ كم/ساعة (٧٥ ميلا فى الساعة). حدث هذا الحادث فى الزمن التاريخى.

حادث إيلم فى سويسرا فى ١٨٨١ : عند إدخال التعليم الإجبارى فى أوروبا فى القرن التاسع عشر زاد الطلب على ألواح الإردواز للكتابة عليها فى حجرات الدراسة.

وعملا على إشباع هذه الحاجة تحول بعض الفلاحين السويسريين القريبين من إيلم إلى عمال مناجم هواة، يستخرجون الإردواز من قاعدة أحد الجبال القريبة. وبحلول عام ١٨٧٦ تكون شق مقوس فوق محجرهم بحوالى ٣٦٠ مترا (١,١٨٠ قدما) وبلغ اتساعه ١,٥ مترا. وبحلول شهر سبتمبر ١٨٨١ صار المحجر ممرا جبليا على شكل حرف V طوله ١٨٠ مترا (٦٠٠ قدم) وعمقه فى المنحدر ٦٠ مترا (٢٠٠ قدم). وفى هذا الوقت اتسع الشق فوق المنحدر إلى ٣٠ مترا (١٠٠ قدم) وتكرر سقوط الصخور منه مصحوبا بضوضاء إنذارية مصدرها الكتلة الصخرية الكبيرة المعلقة. وأدت هذه العلامات إلى وقف عمال المحجر العمل فيه. وتوقع المواطنون سقوط الصخر الكبير؛ ولكنهم لم يفطنوا إلى أنه سوف يتدفق فوق منحدر شديد قبل أن يهبط إلى واديهم الجبلى ليدفن تحته ١١٥ منهم. ولكن ذلك حدث بالفعل.

وفى يوم ١١ سبتمبر ١٨٨١ ظهر حادث إيلم للعيان كمسرحية ذات ثلاثة فصول: السقوط والقفز ثم الاندفاع فوق المنحدر وعلى قاع الوادى المسطح تقريبا (الشكل ٨-٣١). والفصل الأول هو **السقوط** الذى وصفه السيد وايس المدرس بمدرسة قرية إيلم وكان واقفا يشاهده من نافذة منزله:

> عندما بدأ الصخر فى السقوط بدت الغابة التي تقع فوق الكتلة الساقطة تتحرك وكأنها قطيع من الأغنام يهرول؛ والتفَّت أشجار الصنوبر كالدوامة فى ارتباك. ثم هبطت الكتلة بأكملها فجأة....
>
> والواضح أن كتلة الصخر التى كانت صلدة بدأت تتفكك أثناء السقوط الحر.

وفى الفصل الثانى. **القفز**، صدمت الكتلة الساقطة القاع المسطح لمحجر الإردواز وقد تفككت تماما ثم ارتدت بقفزة كبيرة إلى الأمام، ووصفها كذلك المدرس وايس كالآتى:

> ثم رأيت كتلة الصخر تقفز بعيدا عن سلسلة الصخور. وانضغط الجزء السفلى من الكتلة بقوة ضغط الجزء العلوى الهابط بسرعة فتفكك وانفجر فى الهواء.... وانطلقت كتلة الحطام بسرعة

لا يصدقها عقل إلى الشمال نحو قرية أنتيرتال وفوق الجدول، لأننى شاهدت الغابة فى الماء على طول الجدول تحت تدفق الحطام الطائر.

وتم تحديد السطح السفلى للكتلة القافزة بدقة؛ إذ رأى شهود العيان الأشجار والمنازل وقطعان الماشية والناس الهاربين تحت الحطام الطائر. ولم يحدد السطح العلوى بهذه الدقة؛ إذ كان سحابة من الصخور والأتربة. وعندما رأى أهالى أنتيرتال الكتلة تقفز نحوهم فروا إلى أعلى التل لإنقاذ أرواحهم؛ وتبين أن هذا هو التصرف الخاطئ، حيث ضرب جزء من الحطام المتطاير منحدر تلهم فتسيَّل وتدفق فوق المنحدر لمسافة ١٠٠ متر ولحق بهم فدفنهم. وفى الوقت ذاته تحركت بعض الكلاب والأبقار إلى الأجناب بغريزتها فتجنبت تدفق الحطام.

وفى الفصل الثالث، **الاندفاع**، أصبحت كتلة الصخور المتفككة الآن متصلة بالأرض وتدفقت سريعا فى قاع الوادى. وصف حركتها كاسبار زينتنار الذى نجا بأعجوبة من التدفق، إذ قال:

> لم تقفز كتلة الحطام ولم تتدحرج ولم تطر فى الهواء ولكنها اندفعت بسرعة على طول القاع مثل فيض سيلى. وكان التدفق أعلى قليلا فى المقدمة عن المؤخرة. وكانت رأسه مستديرة ومنبعجة، وتحركت الكتلة حركة متموجة. وتدحرج جميع الحطام فى مجرى النهر بارتباك كما لو كان يغلى فذكرتنى الكتلة بأسرها بقدْر البليلة وهو يغلى. وكان الدخان والقعقعة مخيفين. فجريت بأقصى سرعة فوق الكوبرى واستدرت حول ركن منزل رودولف راينز. ثم عدت وأسندت نفسى تماما إلى المنزل. وبمجرد مرورى من الركن مرت أمامى الكتلة بأكملها وكانت تبعد عنى مترا واحدا. وكان تدفق الحطام لا يقل ارتفاعه عن ٤ أمتار. وأنقذتنى خطوة واحدة. ولاحظت فى قفزتى الأخيرة أن أحجارا صغيرة كانت تدور فى دوامة حول ساقىَّ وكأنها أوراق أشجار.

> تذروها الرياح. وسحق المنزل وتحرك ثم انفلق. وهربت على يديَّ وركبتيَّ في الحديقــة حتى بلغت الطـريـق. وحينئذ كنت آمنـا. ولم أشعر بأي ألم، إذ لم تصبنى أية أحجار. ولم أشعر بأى ضغط مميز في الهواء.

ورغم أن الكتلة المتحركة في إيلم بدت لي كأنها «فيضان سيلي» و«قِدْرٌ يغلي»، فلم تكن كتلة منداة بالماء بل كانت جافة وكان سائلها الداخلي من الرماد والهواء. وأبدى الزوار الذين شاهدوا منظر كتلة الحطام المترسب أن منظرها يشبه «تدفق الحمم الطينية». وهذه هي الحقائق: كتلة من الصخور المحطمة يبلغ حجمها ١٠ مليون متر مكعب سقطت من ارتفاع ٦٠٠ متر (١,٩٧٠ قدما) ثم تدفقت لمسافة ٢٢٣٠ مترا (١,٤ ميلا)، كتلة جافة تحركت بسرعة ١٨٠كم/ساعة (١١٠ميلا في الساعة).

جبل تيرتيل في آلبيرتا في كندا في ١٩٠٣ : تحتل مدينة استخراج الفحم من المناجم فرانك في ولاية آلبيرتا في كندا موقعا جميلا في وادي نهر أولدمان وجبال روكي في كندا. تغير موقعها في التاريخ في يوم ٢٩ أبريل ١٩٠٣ عندما انزعج سكانها في الساعة ٤,١٠ صباحا إثر ضوضاء قادمة من جبل تيرتيل عندما انزلقت كتلة وزنها ٩٠ مليون طن من طبقات من الحجر الجيري المائلة على سطحها الأساسي، من ارتفاع ١ كم (٣٠٠٠ قدم) في وادي النهر، فتمزقت ثم تدفقت ٣ كم (٢ ميل) عبر حائط الوادي على الجانب المقابل (الشكل ٨-٣٢). استغرق الحادث ١٠٠ ثانية فقط، ولكنها انسحقت ودفنت الطرف الجنوبي للمدينة فقتلت ٧٠ شخصا. ويقول شهود العيان أن سائق القطار العائد إلى منجم الفحم سمع صوت تحطم الصخرة عند ارتطامها بجبل تيرتيل، فانطلق إلى الأمام بأقصى سرعة إلى بر الأمان عندما شاهد عمال المناجم عند رصيف التحميل يهرولون طلبا للنجاة بأرواحهم ولكن تدفق الصخور اكتسحهم فقتلهم. والموقع الآن منظم ليجذب السياح ومزود بمركز استعلامات عن انزلاق فرانك وعرض سمعي وبصري وساحة لقوافل المتنزهين سيرا على الأقدام.

حركة التدفقات الصخرية العالية السيولة (الحركات السريعة البعيدة المدى)

كيف يتحرك حطام الكتل الكبيرة الحجم هذه المسافة وبهذه السرعة ويبدو كما لو كان

سائلا؟ عرضت للإجابة عدة افتراضات. (١) يعتمد بعضها على الماء لإيجاد مادة زلقة وتدفقات أشبه بالسوائل، ولكن البعض الآخر لاحظ أن التدفقات لكتل من الحطام الجاف مثل حادث إيلم. (٢) ويستوحى افتراض آخر فكرة توليد البخار لتمييع أو تسييل الكتلة المتحركة. (٣) أو يستوحى فكرة الانصهار الاحتكاكى للمادة داخل الكتلة المتحركة؛ وكلا الفرضيتين فشلتا بسبب احتواء الرواسب ذات المدى البعيد على كتل من الجليد أو جلاميد تنمو عليها نباتات تشير إلى عدم تولد كميات كبيرة من الحرارة الداخلية وليس الاحتكاك الداخلى دائما على مستوى عال جدا. (٤) وترى إحدى النظريات الشائعة أن الكتلة الساقطة تحتبس تحتها حجما كبيرا من الهواء ثم تركب مستندة جزئيا على بساط من الهواء المحبوس يمكنها من الانطلاق إلى مسافة بعيدة وبسرعة كبيرة. فمثلا، بعد الانطلاق المبكر للحركة السريعة فى المدى البعيد فى إيلم والقفزة المحمولة جوا تم وصفها على أنها كانت على اتصال بالأرض. والحقيقة أنها كشفت خط أنابيب كان مدفونا على عمق متر واحد من سطح الأرض. ومن المشكلات الإضافية لنظرية التدفق بالوسادة الهوائية أن الرواسب فى مثل هذه التدفقات على سطحى القمر والمريخ تحدث دون أن يكون حولها غلاف جوى أو يكون ضئيلا جدا.

ولهذا يبدو أن الماء أو الحرارة أو الوسادة الهوائية المحبوسة ليس لها دور ضرورى فى تدفق الحطام للمدى البعيد. إذن فكيف يحدث ذلك لهذه الكتل الكبيرة؟ هناك حقيقة جديرة بالملاحظة تساعدنا على تدبيج نظرية أخرى. فبعد سقوط كتلة إيلم تفككت وقفزت وتدفقت ٢,٢٣ كم واستقر الحطام وكان التطابق الأصلى فى صخر الأساس فى جانب الجبل لا يزال مميزا. وحتى لو تدفق الحطام طبقا لرواية شهود العيان فإن قطعا كبيرة من الحطام ظلت فى موضعها النسبى ذاته. ويقول عالم الجيولوجيا الألمانى آلبيرت هايم الذى قام بدراسة الموقع:

> عندما تسقط كتلة كبيرة تحطمت إلى آلاف القطع فى نفس الوقت وفى نفس خط السير فإن الحطام يتدفق وكأنه فى مجرى واحد. فأعلى كتلة فى آخر المجرى سوف تحاول أن تأتى إلى المقدمة. فتسرع ولكنها ترتطم فى الكتلة التى تعترض طريقها وتتقدمها قليلا. فالطاقة الحركية التى تحتويها الكتلة الأولى أكثر من الثانية

تنتـقل بالارتطام. وبهـذه الطريقـة فـإن الكتلة العليـا لا يمكن أن تلحق بالكتلة السفلى ولهذا تظل باقية خلفها. وتتكرر هذه العملية ألف مـرة مـحـافظة تقـريبـا على النظام الأسـاسى فى مـجـرى الحطام. وهذا لا يعنى أن طـاقة الصـخـور الساقطة من ارتفاعات عالية أصـلا مفقودة؛ بل تنتقل الطاقة بالارتطام. فالكتلة بأكملها مملوءة بالطاقة الحركية، التى يسـهم فيـها جزئيا كل حـجر مفرد. فلا يوجد حجر حر فى العمل بطريقة أخرى.

فمن ذا الذى يتوقع أن تحافظ قطع الركام فى مجرى حطام يتحرك بسرعة على أوضاعها النسبية بعد جاراتها؟ وكيف نفسر هذه العلاقة؟ هناك نظرية مثيرة تتضمن الطاقة الصوتية داخل الكتلة المتحركة اقترحها عالم الطبيعة الأرضية الأمريكى جيى ميلوش. والواضح أن حجما كبيرا من الحطام الساقط يحدث طاقة اهتزازية أو صوتية داخل الكتلة. فتـدافع وارتطام الشذرات إلى الأمام وإلى الخلف يحـدث طاقة صـوتيـة تنتشر على هيئة موجات داخلية. وقد تعمل هذه الموجات الصوتية المحبوسة على تسييل حطام الصخر فتسمح باستمرار معدل سرعة السقوط السريع حيث إن معدل سرعة التدفق السريع فى أية عملية يسمى التسييل الصوتى (الإماعة الصوتية)(*).

حوادث نيفـادوس هواسكاران فى بيرو : نيفادوس هواسكاران هى أعلى قمة فى جبال آنديز فى بيرو. فـالجهة الغربية للقمة الشمالية تتكون من صـخور الجرانيت تقطعها نقط اتصـال عمودية تقريبا موازية لتلك الجـهة. وفى السـاعة ٦,١٣ من مسـاء يوم ١٠ يناير ١٩٦٢ وبدون حافز يذكر لهذا الحادث سقطت كتلة ضخمة من الصخر والثلج المجلدى بادئة بتدفق للحطام. وتدفق الحطام فى أودية النهر كالزلاجات ترتفع أكثر على جوانب منعطفات الوادى وتنخفض فى المنحنيات الداخلية. وتدفق بعض الحطام خارج الوادى عند المنعطفات ولكن معظمه ظل باقيا بين حائطى الوادى واندفع إلى الأمام على شكل كتلة ارتفاعـها من ١٠ حـتى ١٥ متـرا (من ٣٠ حـتى ٥٠ قدمـا) وانـتشـرت على شكل

(*) إماعة fluidisation انسياب الغازات وتغلغلها بين جسيمات طبقة ما إلى الدرجة التى تؤدى إلى انتفاخ الطبقة وإلى إمكان تحرك جسيماتها فى حركة حرة كأنها سائل. (**معجم الجيولوجيا**- المترجم)

لسان يغطى ٣,٥ كم^2 شاملا جزءا من مدينة رانراهيركا (تعنى تلاً من عدة أحجار)؛ ومات فيه ٤,٠٠٠ نسمة. وترك الانزلاق أثرا على قمة نيفادوس هواسكاران بما فيها الجرف المعلق بارتفاع كيلو متر واحد. ويقول أحد التقارير عن هذه المأساة:

> ارتبط الناس بهذا الأثر الضخم الذى يمتد عبر الأرض ويؤثر على حياتهم... ولكنهم يقولون إن هواسكاران وغد لا يزال فى جعبته الكثير الذى يرويه.

وفى يوم ٣١ مايو ١٩٧٠ حدث زلزال فى نطاق الانضواء بقوة ٧,٧ تحت منطقة تبعد ١٣٥ كم (٨٤ ميلا) فى المحيط الهادى وتقع بؤرته على عمق ٥٤ كم (٣٣ ميلا). استمرت الهزة ٤٥ ثانية ولكن قبل انتهاء هذه الفترة سقط جزء هائل من منحدر الواجهة الغربية ذاتها من القمة الشمالية لنيفادوس هواسكاران محدثة صوتا كانفجار الديناميت أو الطنين الصوتى، وحجبت الجبل عن الرؤية سحابة رماد داكنة. وسقط جانب الجبل بين الارتفاعين ٥٥٠٠ و٦٤٠٠ متر (١٨٠٠٠ و٢١٠٠٠ قدم) بما فيها مثلجة سمكها ٣٠ مترا (١٠٠ قدم). كانت الكتلة ١٠٠مليون متر مربع من صخور الجرانيت وكتل الجليد ورواسب المثلجة والماء. وتحركت بسرعة تتراوح بين ٢٨٠ حتى ٣٣٥ كم/ساعة (١٧٥ حتى ٢١٠ ميلا فى الساعة)، فدمرت منطقة مساحتها ٢٢,٥ كم^2 وقتلت ١٨,٠٠٠ نسمة (الشكل ٨-٣٣).

بدأ الحادث على هيئة سقوط تحول إلى جلمود من الحطام وقسم محمول جوا ثم تحرك إلى أسفل ريو سانتا على شكل تدفق لحطام سار أكثر من ٥٠ كم (٣٠ ميلا). وكان تسلسل الأحداث كما يلى:

١- سقوط عمودى من ارتفاع ٤٠٠ حتى ٩٠٠ متر (١٣٠٠ حتى ٣٠٠٠ قدم (الشكل ٨-٣٤).

٢- استقرت الكتلة الساقطة فوق المثلجة وانزلقت فوق سطحها جارفة معها الثلج.

٣- انطلق جلمود الحطام فوق جانب تل الرواسب الجليدية، قاذفا كثيرا من الحطام فى الهواء.

٤- أما بالنسبة للأربعة كيلومترات (٢,٥ ميلا) أسفل المنحدر فقد سقطت من السماء جلاميد وزن كل منها عدة أطنان فسحقت المنازل والبشر والحيوانات الأخرى. وهذا السقوط المميت للجلاميد الضخمة ترك علامات فى الأرض وحفراً مثل ميدان حرب قذفته القنابل بكثافة.

٥- ثم عادت الكتلة فاتحدت على شكل تدفق حتى وصلت قمة تل سيرُّو دى إيرا (وتعنى سيرُّو بالأسبانية التل) الذى يبلغ ارتفاعه ٢٣٠ مترا (٧٥٠ قدما)، والذى حمى مدينة يونجيى فى حادث ١٩٦٢. ولكن الحظ ليس حليفا فى هذه المرة؛ إذ تجاوز جزء من الحطام قمة سيرُّو ودفن يونجيى ومعها ١٨٠٠٠ نسمة تحت حطام سمكه ٣٠ مترا (١٠٠ قدم). وكان التوقيت غير ملائم حيث وقع فى مساء يوم أحد وكان الموقع مكتظا بالزائرين من الإقليم المجاور. وقد وصف الناجون من الموت هذا المشهد من أعلى نقطة فى يونجيى وأكثر الأماكن أمنا فى المدينة وهى المقابر.

٦- وفى الوقت ذاته استمرت الكتلة الرئيسية فى سباقها نحو ريو سانتا وقد سبقتها ريح شديدة دفعتها أمامها. وزحف القسم الرئيسى من الحطام عبر ريو سانتا وجرى ٨٣ مترا (٢٧٥ قدما) فوق المنحدر البعيد، فقتل ٦٠ شخصا من مدينة ماتاكوتو قبل أن ترتد بعد سقوطها مثل موجة المحيط التى ترتد عند الشاطئ.

فماذا يحمل المستقبل فى جعبته لهذا الموقع؟ فالمجلّدات فوق مواقع أحداث ١٩٦٢ و١٩٧٠ بها شقوق كبيرة، بما يوحى بأن جانب الجبل الواقع تحتها لا يزال مشققا وغير مستقر. والشذوذ فى القاعدة وارد؛ فإعادة الإسكان فى منطقة المنحدر سوف تتعرض لحوادث قتل أخرى بفعل تدفقات الحطام.

جلاميد الجليد

يؤدى سقوط ندف الثلج بغزارة على المنحدرات الحادة إلى زيادة قوة سحب الجاذبية فتنهار على شكل جلاميد جليدية (الشكل ٨-٣٥). ويمكن فهمها باستخدام نفس مبادئ حركة الكتل الترابية والصخرية؛ إذ تزحف الجلاميد الجليدية وتسقط

وتنزلق وتتدفق مثل حركات الكتل الترابية تماما. والواقع أن سقوط ندف الثلج وتراكم ما تحمله الرياح عاليا فوق المنحدرات يزيد من حمل رأس المنزلق فيهيئ الساحة للانهيار. وتختلف أحجام الجلاميد من الصغيرة إلى الكبيرة جدا. وتتحرك بمعدلات تتراوح بين مجرد التقدم البطئ إلى السرعات التى تقاس بحوالى ٣٧٠ كم/ساعة (٢٣٠ ميلا/ساعة) فى اليابان. وتختلف مسافة سيرها من بضعة أمتار إلى عدة كيلومترات.

انطلق جلمود حجمه حوالى ٧٦٥٠٠٠ متر مكعب إلى أسفل منحدرات سانفورد فى آلاسكا فى يوم ١٢ أبريل ١٩٨١؛ وسقط من ارتفاع يزيد عن ٣ كم (٢ ميل) وتدفق مسافة ١٣ كم (٨ أميال)، بما فيها الجريان إلى أعلى فوق سلسلة جبال ارتفاعها ٩٠٠ متر (٣٠٠٠ قدم).

وتتنوع أساليب الجلاميد. فالجليد الحر المسحوق قليل التماسك. وهذه المادة الضعيفة ربما كان ٩٥٪ من حجمها فراغات مسامية. فهى تسقط نمطيا عند نقطة المصدر، ثم تحفز الكثير من الجليد على الحركة أثناء انحدارها أسفل التل. فالجلاميد تبدأ حيث يشتد انحدار المنحدرات (عادة من ٣٠ حتى ٤٥ درجة)، ثم تتحرك إلى أسفل المنحدرات ذات ٢٠ حتى ٣٠ درجة، تقودها التضاريس، ثم تتوقف فى النهاية فى منطقة الاستقرار (منحدرات تقل عادة عن ٢٠ درجة).

أما الجلاميد الأكبر فتشمل عادة تحرر لوح من الجليد المتماسك من قاعدته الضعيفة الوثاق. فالإنهيارات تشبه الانزلاقات التحويلية حيث تتحرر الكتلة العلوية وتنزلق إلى أسفل وإلى الخارج فوق طبقة تحتها. وتتحول الانزلاقات نمطيا إلى تدفقات أثناء حركتها إلى أسفل المنحدر. والعنصر المهم فى فهم جلاميد الألواح هو إدراك أن كتلة الجليد فوق الجبل تتكون من عدة طبقات متنوعة من الجليد تكونت فى عدة أوقات. فكل طبقة من طبقات الجليد لها خصائصها وسمكها وقوتها وصلادتها وكثافتها. وبين أكوام الطبقات الجليدية توجد قشرة من الجليد المنصهر تكونت أثناء تعرض السطح فيما بين زخات الندف الجليدية. ونتيجة لذلك توجد تراكمات غير متجانسة لطبقات مميزة ومنفصلة تحتوى على العديد من الأسطح القابلة للانهيار فى داخلها.

وفى عالم اليوم يشعر بالأضرار الكبرى للجلاميد الناس الذين يمارسون التزحلق على الجليد وتسلق القمم الجليدية والسير بالسيارات فوق الجليد والسير على الأقدام فوقه. ومتوسط الوفيات السنوية فى بعض الدول كالآتى: ٣٥ فى النمسا، و٣٠ فى فرنسا، و٣٠ فى اليابان، و٢٦ فى سويسرا، و٢٥ فى إيطاليا، ١٤ فى الولايات المتحدة، و٦ فى كندا. والجلمود النمطى يبلغ سمكه من ٠,٦ حتى ٠,٩ مترا (من ٢ حتى ٣ أقدام) وارتفاع منحدر رأسه من ٣٠ حتى ٦٠ مترا (من ١٠٠ حتى ٢٠٠ قدم) ويسقط من ارتفاع ٩٠ حتى ١٥٠ مترا (من ٣٠٠ حتى ٥٠٠ قدم). فإذا كان الجليد جافا كانت سرعة الجلمود من ٦٥ حتى ١٠٠ كم/ساعة (من ٤٠ حتى ٦٠ ميلا فى الساعة). وإذا كان الجليد رطبا كانت سرعته من ٣٠ حتى ٦٥ كم/ساعة (من ٢٠ حتى ٤٠ كم/ساعة).

ومن أمثلة الأحداث الكبيرة ما حدث فى الساعة ٣,٤٥ من مساء يوم ٣١ مارس ١٩٨٢ فى مروج آلباين فى كاليفورنيا إذ تكونت شقوق عمقها ٣ أمتار (١٠ أقدام) وطولها ٩٠٠ متر (٣٠٠٠ قدم) فى أعلى المنحدر. وتحرك جلمود وزنه ٦٥٠٠٠ طن من الجليد على شكل كتلة ارتفاعها ١٠ أمتار (٣٠ قدما) وتتحرك بسرعة ١٣٠ كم/ساعة (٨٠ ميلا فى الساعة). انطلق الجلمود إلى منتجع للتزحلق على الجليد فسحق المصعد والمبانى وقتل سبعة أشخاص. فالتواجد فى جبال مغطاة بالجليد شىء عظيم، ولكن التفكير فى مبادئ حركات الكتل أثناء التواجد شىء جدير بالاهتمام.

حركات الكتل تحت سطح البحر

كثيرا ما تحدث حركات الكتل المألوفة فى سلاسل الجبال تحت سطح البحر. وتقع بين الكتل الرسوبية (الدلتاوات) التى ترسبت عند مصبات الأنهار الكبرى سقطات دورانية؛ ويحدث الانهيار المركب فى الكتل الخرسانية المدمرة فى مناطق الانضواء؛ وتنزلق جلاميد الحطام إلى أسفل المنحدرات للبراكين التى تقع تحت سطح البحر. وبعض حركات الكتل الكبرى التى تقع تحت سطح البحر أمكن تمييزها فى قاع البحر على امتداد السلسلة البركانية لجزر هاواى. فالسقوط المفاجئ ورواسب جلاميد الحطام فيها

تغطى أكثر من خمسة أضعاف مساحة اليابسة فى الجزر (الشكل ٨-٣٦). ويزيد طول بعض جلاميد الحطام الفردية على ٢٠٠ كم (١٢٥ ميلا) وبأحجام تزيد عن ٥٠٠٠ كم^{٣} (١١٢٠ ميلا مكعبا)، وهى من أكبر الجلاميد على وجه الأرض.

توقَفْ برهة وتأمَّلْ هذا - فكل جزيرة فى هاواى بها من علامات الضعف الكبرى فى التكوين ما يؤهلها لانهيارات كبرى. فالأرض التى ليست صلدة بالقدر الكافى تخدعنا، فقد تنهار فجأة وعلى نطاق واسع. فمثلا، جزيرة مولوكاى ليست بها براكين، فأين ذهبت؟ الواضح أن القسم الشمالى من الجزيرة سقط فى المحيط (الشكل ٨-٣٦). مخلِّفا وراءه جروفا شديدة الانحدار.

وماذا يحدث للمحيط عندما يسقط فيه جزء هائل من الجزيرة ويتدفق بسرعة تحت الماء؟ الموجات السنامية. فالأمواج العملاقة فيما قبل التاريخ قذفت بالمرجان والأصداف البحرية والحصى البازلتى على اليابسة حيث توجد الآن على شكل طبقات من الحصى فى لاناى على ارتفاع ٣٦٥ مترا (١١٢٠ قدما) فوق سطح البحر. فالموجات السنامية بهذا الحجم لن تخرب هاواى فقط، بل تسبب الموت والدمار فى حوض المحيط الهادى كذلك.

وأين يمكن أن يقع مثل هذا الحادث فيما بعد؟ من المحتمل جدا أن يقع هذا فى بركان كيلويا النشيط فى الجانب الجنوبى الشرقى من جزيرة هاواى (الشكل ٨-٣٧). فمنطقة الصدوع العادية بالإضافة إلى حقن الصهارة فى بركان كيلويا النشيط تبدو كذلك رءوسا لمنحدر شديد لتحركات كتل عملاقة (الشكلان ٨-٢٧ و٨-٢٨). فإحدى الكتل المتحركة على الجنوب الشرقى لكيلويا يزيد حجمها عن ٥٠٠٠ كم^{٣} وتنزلق بمعدل حتى ٢٥ سم/سنة (١٠ بوصات فى السنة). وتبرز الكتلة المنزلقة قبالة الشاطئ بحوالى ٦٠ كم (٣٧ ميلا) ولأعماق حوالى ٥ كم (٣ أميال) (الشكل ٨-٣٨). وتضم منطقة الكتلة المتحركة المنطقة الساحلية جنوب شرقى كيلويا وطولها ٨٠ كم (٥٠ ميلا). ومن الجائز أن تغطس كتلة هاواى الضخمة التى يسكنها أكثر من ١٠٠٠٠ نسمة فى البحر فى أعقاب زلزال كبير أو أثناء حركة صهارة كبرى.

الخسف (الهبوط)

فى الخسف تهبط الأرض إلى أسفل (الشكل ٨-١٥)؛ فإما أن ينخفض السطح ببطء أو يسقط كارثيا عندما تقفل الفجوات فى الصخور. وليس هذا هو الهبوط المصاحب للألواح التكتونية، أو حركات السقوط، أو البراكين، بل هو إما أن يكون اندماجا للرواسب الحرة المشبعة بالماء أو انهيارا سريعا فى الكهوف.

الخسف البطىء

يهبط سطح الأرض ببطء فى كثير من مناطق العالم (الجدول ٨-٣). وأكبر قدر من الخسف حدث فى وادى سان جواكين فى كاليفورنيا . فقد استخرجت كميات هائلة من الماء من باطن الأرض إلى سطحها لعدة قرون لرى المحاصيل، مما أدى إلى هبوط سطح الأرض أكثر من ١٠ أمتار (٣٣ قدما) فى بعض المناطق. فالسوائل داخل الصخور تساعد على حمل أوزان الطبقات العليا من الصخور. وأثر ذلك يماثل أثر الماء عندما تحمل جسم صديقك فى حمام السباحة حيث يساعد الماء فى حمل جسم صديقك.

وعند سحب الماء أو البترول من جوف الأرض إلى سطحها . فإن إزالة حجم كبير من السائل وانخفاض فى ضغط السائل الذى يتخلل المسام تؤدى إلى تراكم حبيبات الصخر والتصاقها ببعضها البعض؛ فيحدث هبوط فى سطح الأرض (الشكل ٨-٣٩). ومن الأمثلة ما يساعد على شرح المسألة.

دلتا نهر مسيسيبى فى لويزيانا : ودلتاوات الأنهار أماكن محببة لإقامة المدن فوقها . وتتوافر العديد من الموارد بجوار الدالات مثل: التربة الخصبة والماء العذب للشرب وللرى والأطعمة البحرية والطقس اللطيف ووسائل النقل والتجارة حيث يتلاقى داخل القارة مع عالم المحيط. وتكمن المشكلة فى أن الدالات ما هى إلا أكداس حرة من الرمل والطين مشبعة بالماء؛ ولهذا تتلاحم وتهبط. وتضيف كل طبقة جديدة من الرواسب وزنا فوق الطبقات القديمة يسبب التصاقا لحبيبات الرواسب ببعضها فتنز ماءً كثيراً

من محتواها (الشكل ٨-٣٩). وتقع تحت دلتا نهر مسيسيبى على خط الساحل أكداس من الرواسب سمكها ٦ كم (٣,٧ أميال) ترسبت فى ٢٠ مليون سنة الأخيرة. وفى ٢٠٠٠٠ سنة الأخيرة هبط الإقليم هبوطا ملحوظا نظرا لتلاحم الرواسب وفقد الماء والضبط التوازنى (الشكل ٨-٤٠).

وتنخفض نيو أورليانز ببطء عند الدلتا. فهبوط المدينة أمر يؤكده سحب المياه الجوفية. فهبطت أجزاء من نيو أورليانز حوالى ٣ أمتار خلال ٥٠ سنة الأخيرة. واليوم يقع حوالى ٤٥٪ من نيو أورليانز تحت مستوى سطح البحر، وبهذا تتعرض المدينة أكثر للخسائر من جرّاء أمواج الماء العالية المصحوبة بالأعاصير الرعدية الممطرة (هوريكين). وكذلك تنخسف كثير من المدن الساحلية الأخرى نظرا لتلاحم حبيبات الدلتا وسحب المياه الجوفية.

إقليم هوستون – جالفستون فى تكساس : من الحالات المبكرة لسحب السائل المؤدى إلى خسف الأرض ما حدث حول حقل بترول جوس كريك فيما بين هوستون وجالفستون. بدأ سحب كميات هائلة من الزيت والغاز الطبيعى وما يصاحبها من ماء إلى السطح فى عام ١٩١٧. ونتيجة لذلك هبط سطح الأرض بالقدرالذى جعل ماء البحر يغمر منطقة خليج سان جاكينتو. ونظرا إلى أن الولايات تمتلك حق استغلال المعادن فى الأراضى المغمورة فقد رفعت ولاية تكساس قضية لتستولى على حقل النفط الذى يقع الآن تحت مياه البحر. وفى النهاية خسرت الولاية القضية.

فمنطقة هوستون – جالفستون واحدة من أكثر المناطق شهرة عالمية فى البلاد. فقد اعتمدت كثيرا على سحب المياه الجوفية لتوفير احتياجاتها منها. ولهذا فإن منطقة تزيد عن ١٢٠٠٠ كم^{٢} هبطت حتى ٢,٧ مترا (٩ أقدام). ومن الآثار الهامة الأخرى لاستيطان الأرض عودة حركات الصدوع القديمة من جديد (الشكل ٨-٤١). وهذه الصدوع تعمل على أسطح للانزلاقات العملاقة لأكداس سميكة من الرواسب الساحلية لتنزلق ببطء نحو خليج المكسيك. فالصدوع نشيطة ولكنها لا تحدث زلازل. وعلى أية حال، فهى تحطم المنازل والمبانى التجارية والطرق والمعالم الأخرى.

بالوعات الحجر الجيرى فى جنوب شرقى الولايات المتحدة : والحجر الجيرى نوع مختلف من الصخور؛ يتكون معظمه فى البحار الضحلة الدافئة بتراكم وتحلل الأصداف وهياكل الكائنات الحية التى تزيل الكالسيوم (Ca) والكربون (C) والأكسيجين (O) من ماء البحر لتبنى مادة هياكلها من كربونات الكالسيوم ($CaCO_3$) وتبنى بعض الكائنات الحية الحجر الجيرى مباشرة على شكل شعاب مرجانية. وتموت كائنات حية أخرى فتلتحم أصدافها وفقراتها ورفاتها المتحجرة الأخرى ببعضها البعض بفعل كربونات الكالسيوم $CaCO_3$ بانتشارها بين الثقوب كالأسمنت.

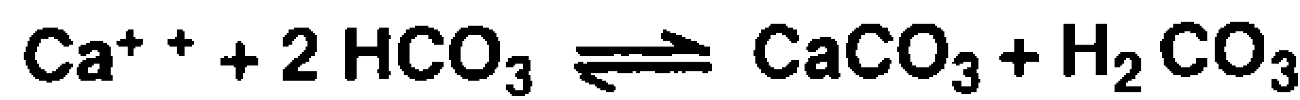
تكوَّن الحجر الجيرى فى الزمن الجيولوجى الماضى على نطاق واسع عندما غمرت مياه المحيطات الدافئة والضحلة وسط وجنوب شرقى الولايات المتحدة. واليوم يتدفق الماء العذب الحامضى خلال الحجر الجيرى فى هذه الأقاليم فيحللها ويكوِّن شبكة واسعة من الكهوف الكبيرة. وعندما تنقص مستويات الماء أثناء القحط أو بسبب السحب من الماء الجوفى، فإن إزالة الماء تقلل من الدعم الداخلى الذى يعمل على حمل أسقف الكهوف. وفقدان الدعم الكافى الذى يحدث عند سحب الماء الجوفى من الكهوف يضعف بعضها إلى الدرجة التى تؤدى إلى انهيار سقوفها فجأة وبشكل كارثى لتكوِّن البالوعات. وفى كل عام ترينا الصحف ووسائل الإعلام الإلكترونية أمثلة من هذه الانهيارات المفاجئة (الشكل ٨-٤٢). وفى آلاباما وحدها يقدر عدد البالوعات التى تكونت منذ عام ١٩٠٠ حوالى ٤٠٠٠ بالوعة.

ويقع تحت كثير من وسط فلوريدا حجر جيرى مغطى فى معظم المناطق بطبقة سمكها من ١٥ حتى ٣٠ مترا (من ٥٠ حتى ١٠٠ قدم) من الرمل الطينى. وعندما ينخفض منسوب كتلة الماء الجوفى نظرا للقحط الذى يقلل من الموارد المائية أو بفعل الإنسان بالسحب الجائر وزيادة آبار المياه الجوفية فإن الكهوف الكبيرة فى الحجر الجيرى تنصرف منها المياه. فإن سحْبَ الماء ضعفت الكهوف وربما انهارت. وفى يوم ٨ مايو ١٩٨١ زاد المنخفض الصغير فى أرض وينتر بارك فى فلوريدا حتى وصل إلى قطر ٤٥ مترا (١٥٠ قدما) فى فجوة انهارت (بالوعة) فى ظرف ١٥ ساعة. وقبل انتهاء

الأسبوع كان قطر البالوعة ١٠٠ متر (٣٢٥ قدما) وعمقها ٣٤ مترا (١١٠ قدم) (الشكل ٨-٤٣). وهدم الكهف المنهار منزلا واحدا وعدة قطاعات من إحدى الورش والطرف العميق من حمام سباحة البلدية.

حاشية جانبية: كيف يتكون الكهف

تتكون الكهوف عادة فى الحجر الجيرى. وتستخدم نفس المعادلة التى تحدد تكوين الحجر الجيرى كذلك فى تحديد تحلله فى الكهوف. والمعادلة الأساسية هى:



$$Ca^{++} + 2\,HCO_3 \rightleftharpoons CaCO_3 + H_2CO_3$$

حيث إن Ca هى أيون الكالسيوم و HCO_3 هى أيون البيكربونات و$CaCO_3$ هى الحجر الجيرى و H_2CO_3 هى حامض الكربونيك. وعندما تسير المعادلة من اليسار إلى اليمين ينتشر الحجر الجيرى. وعندما تسير المعادلة من اليمين إلى اليسار يتحلل الحجر الجيرى. والمتغير الأولى الذى يتحكم فيما إذا كان الحجر الجيرى ينتشر أو يتحلل هو مقدار حامض الكربونيك المتواجد. والمتغير الأساسى الذى يتحكم فى تركيز حامض الكربونيك هو مقدار ثانى أكسيد الكربون فى المحلول:



$$H_2O + CO_2 \rightleftharpoons H_2CO_3$$

فإذا زاد المحتوى المذاب فى ثانى أكسيد الكربون صار الماء غنيا بحامض الكربونيك وتحلل الحجر الجيرى. وهذا يصف كذلك ما يحدث فى المشروبات الغازية المعروفة، حيث يحتوى الماء المحلى بالسكر على كميات كبيرة من ثانى أكسيد الكربون CO_2 فى المحلول تحت الضغط. والمحتوى من ثانى أكسيد الكربون يزيد عندما يكون الماء مضغوطا وباردا؛ وهذا يعنى أن فقاعات الغاز مذابة فى المحلول.

موجز

تسحب الجاذبية بدون انقطاع جميع أشكال اليابسة على الأرض محدثة انهيارات تسمى حركات الكتل. وتتراوح هذه الحركات من زحف أسطح التلال الذى لا يكاد يلاحظ، حتى تدفقات الحطام التى تتحرك بسرعة تزيد عن ٢٠٠ ميل فى الساعة. وتهيئ حركة المواد السطحية الساحة للزحف. فالتربة والصخور تنتفخ إلى أعلى عموديا على السطح نظرا لتجمد الماء فى المسام ولابتلال الصلصال وتمدد الحجم بفعل حرارة الشمس. وتتقلص مباشرة إلى أسفل بفعل سحب الجاذبية عند ذوبان الجليد والجفاف والبرودة فتحدث منظومة من الحركات إلى أسفل المنحدرات.

وتحدِثُ المنحدرات انهيارات بفعل عناصر خارجية مثل شدة ميل المنحدر أو إضافة كتلة فوق المنحدر أو إزالة كتلة من تحت المنحدر. وتشمل العوامل الداخلية التى تضعف المنحدر أصلا المواد الضعيفة مثل معادن الصلصال ونقص التماسك فى المحلول أو التحات الداخلى وثقل الماء المسامى ورفع ضغط الماء المسامى والتكوينات الجيولوجية المعاكسة مثل قاع الأساس المائل وأسطح الصدوع وعروق الصلصال. وكثير من العوامل تدفع المنحدر نحو الانهيار. وتبدأ الحركة بحادث محفز مثل الأمطار الغزيرة والزلازل والنشاط البشرى.

ومن النماذج الكبرى لحركات الكتل السقوط إلى أسفل مثل السقوط والخسف (الهبوط)، أو السقوط إلى أسفل وإلى الخارج مثل الانزلاق والتدفق. فالسقوط يحدث لكتل صخرية أزيحت من منحدرات مرتفعة؛ فإذا كانت كبيرة بالقدر الكافى فربما تحولت من سقوط إلى انزلاق أو تدفق.

والانزلاقات حركات كتل فى أعلىَ السطوح الضعيفة. فالمقعر - إلى أعلى، أسطح ضعيفة مقوسة يحدث انزلاقات دورانية. وهنا تميل رأس المنزلق إلى الخلف، بينما تبرز قدم المنزلق إلى أعلى، وتسير مسافة قصيرة. والانزلاقات الدورانية مدمرة شائعة للممتلكات؛ ولكن حركاتها البطيئة يندر أن تقتل أحدا.

وتسمى الانزلاقات على قمة أسطح منحدرة أو مستوية بالتحويلية؛ ويمكنها قطع مسافات كبيرة وبسرعة. والكتل التحويلية ربما بقيت متماسكة على شكل انزلاقات الكتل التى تدمر الأموال مثلما حدث فى بوينت فيرمين فى كاليفورنيا؛ وربما تفككت إلى انزلاقات حطام تقتل آلاف البشر مثلما حدث فى ڤايونت فى إيطاليا: أو ربما انتشرت عرضيا على السطح عندما تتشوه طبقة من الصخر سفلية ضعيفة.

والتدفقات حركات كتلة تظهر كالسوائل، حتى ولو كانت جافة. وربما كانت التدفقات من الحصى والرمال والطين والثلج والجليد أو خليطا من المواد. وتحدث تدفقات الطفلة فى الصين تهز الزلازل الغرين ليعلق فى الهواء؛ وهذه التدفقات تقتل مئات الآلاف من البشر فى حوادث منفردة. وتدفقات التربة تدمر كثيرا من المبانى كما حدث فى منطقة بورتوجير بيند فى لوس أنجلوس. وحركات السقوط البعيدة المدى والسريعة تدفقات تقطع مسافات بعيدة بصفة خاصة تبلغ ٢٥ ضعفا لمسافة سقوطها الرأسى. والسيولة الكبيرة لحركات السقوط البعيدة المدى والسريعة ربما كان مرجعها للطاقة الصوتية أو الذبذبات الكامنة فى الكتلة الساقطة، فتجعل الحبيبات تتدافع ولكن للخارج. ويمكن لحركات السقوط البعيدة المدى والسريعة أن تتجاوز سرعتها ٢٠٠ ميل/ساعة فتقتل آلافا من البشر.

ويحدث الخسف (الهبوط) عندما يهبط السطح إلى أسفل إما ببطء استجابة لإزالة المياه الجوفية أو النفط، أو كارثيا مثل انهيار أسقف الكهوف الكبيرة فى الحجر الجيرى مكوِّنة بالوعات. وتتكون منظومات الكهوف الواسعة فى الحجر الجيرى فى بقاع كثيرة من وسط وجنوب شرقى الولايات المتحدة.

وتبدو أكبر حركات الكتل على وجه الأرض فى الانهيارات تحت سطح الماء. وتعانى جزر هاواى من انهيارات للكتل أكبر من ٥٠٠٠ كم^{3}. ويعيش حوالى ١٠٠٠٠ مواطن فوق الكتلة الأكثر احتمالا للسقوط الكارثى فى المستقبل.

مصطلحات للمذاكرة

التسييل الصوتى	acoustic fluidization
تطابق الصخور وخاصة الرسوبية (الطِّباقية)	bedding
صخر الأساس	bedrock
صلصال من رماد البراكين	bentonite
حامض الكربونيك	carbonic acid
كهف كبير	cavern
تجوية كيميائية	chemical weathering
معادن صلصالية	clay minerals
زحف	creep
أساس تتخلله فراغات	daylighted bedding
تدفق الحطام	debris flow
دلتا	delta
دوامة مائية	eddy
سقوط	fall
تدفق	flow
حجر جيرى	limestone
تحرك الكتلة	mass movement
سحب الماء الجوفى	piping
ضغط الماء فى المسام	pore- water pressure
مسامية	porosity
الصلصال الناعم السواخ	quick clay
انزلاق دورانى	rotational slide
قص	shear
بالوعة	sinkhole
إردواز	slate

انزلاق	slide
تدهور على سطح مقوس	slump
تربة	soil
سقوط بعيد المدى وسريع	sturzstrom
ينخسف - يهبط	subside
قعيرة - طية مقعرة	syncline
انزلاق تحويلى	translational slide
دوامة	vortex

أسئلة للمراجعة

١ - اشرح آليات الزحف. ماذا يؤدى إلى تمدد وتقلص التربة وصخور السطح؟

٢ - ارسم قطاعا مقطعيا فى منحدر واشرح العوامل الخارجية التى يحتمل أن تؤدى إلى الانهيار مثل حركات الكتل.

٣ - ارسم قطاعا مقطعيا فى معدن صلصالى. واشرح الخصائص الفيزيائية (الطبيعية) التى تحدث التمدد والتقلص.

٤ - ارسم جزيئا للماء واشرح كيف يلتحم بسرعة ببعض المعادن الصلصالية.

٥ - ارسم قطاعا مقطعيا واشرح كيف يتكون الرمل السواخ.

٦ - كيف يصبح الماء فى المسام مضغوطا؟ وما دوره فى حركات الكتل؟

٧ - سجل بعض التكوينات الجيولوجية المعاكسة داخل التلال التى تيسر حركات الكتل.

٨ - ارسم قطاعا مقطعيا واشرح طريقة الدائرة السويدية فى تحليل استقرار المنحدر للانزلاقات الدورانية.

٩ - ارسم قطاعا مقطعيا واشرح كيف تعمل الانزلاقات التحويلية.

١٠- عانت الصين بفقد مئات الآلاف من المواطنين فى أحداث تدفقات الراسب الطفلى الفردية. اشرح كيف تعمل هذه التدفقات السريعة.

١١- ما هى الأحداث المحفزة لبدء حركة الكتل السريعة؟ فمثلا، فى إيلم فى سويسرا؛ وفى ڤايونت فى إيطاليا، وفى نيڤادوس هواسكاران فى بيرو.

١٢- قارن بين جلمود الجليد وحركة الكتل الترابية أو الصخرية.

١٣- لماذا تنخسف ببطء المدن الساحلية الواقعة فى دالات الأنهار، مثل نيو أورليانز فى لويزيانا؟ ولماذا تهبط ببطء بعض المدن القريبة من آبار البترول العملاقة، مثل هوستون- جالفستون فى تكساس؟

١٤- لماذا تتكون منظومات الكهوف الكبيرة فى الحجر الجيرى؟ ولماذا تنهار أحيانا وتكوِّن بالوعات؟

أسئلة لمزيد من التأمل

١ - تشق الطرق الرئيسية عادة عند قاعدة المنحدرات. وعندما تقفل حركات الكتل الطريق تزال بسرعة. فما هو الخطأ فى كل هذه العملية؟

٢ - ارسم قطاعا مقطعيا لتل مكوَّن من طبقات من الصخر مائلة. ففى أى جانب من التل تستطيع أن تبنى منزلك؟

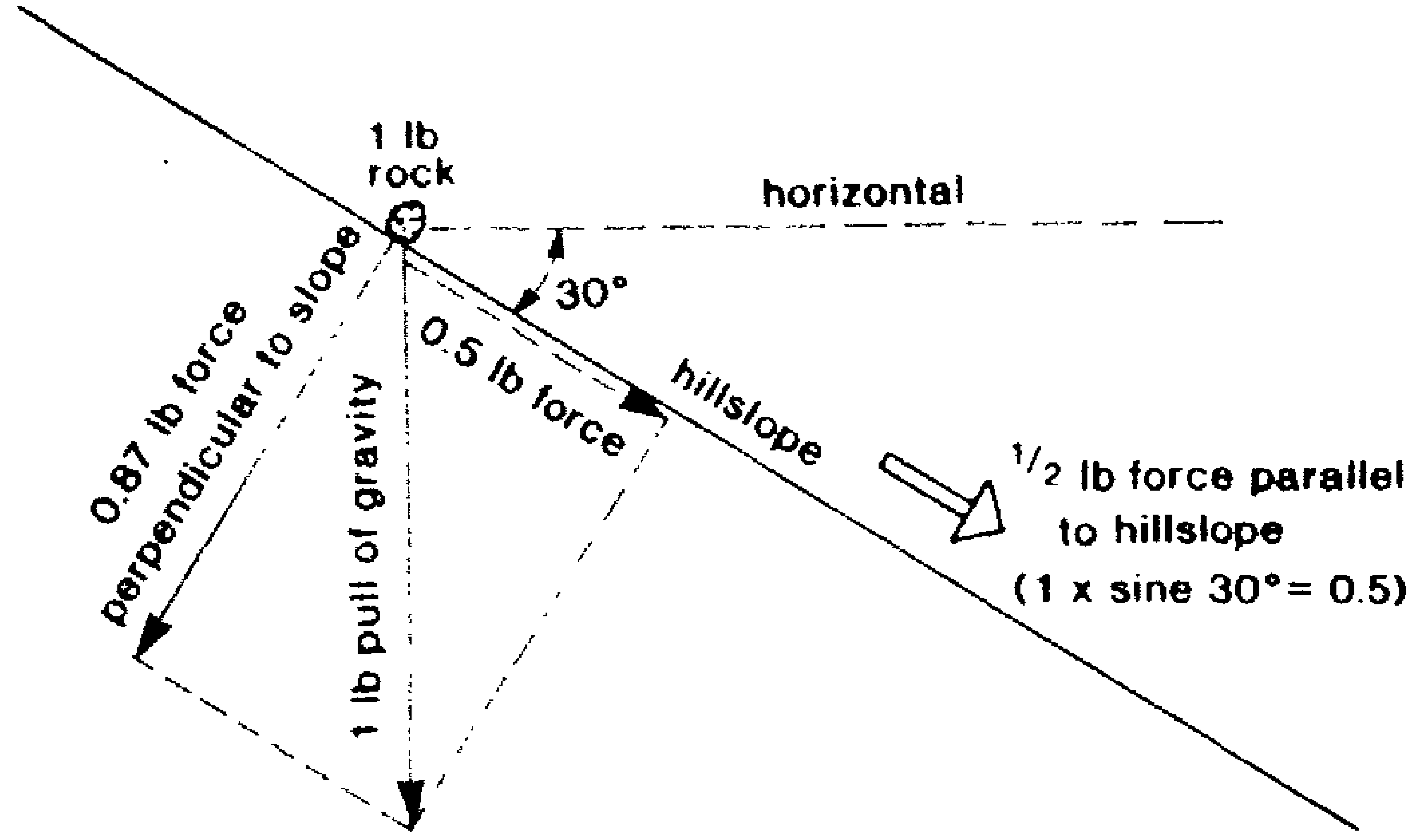
٣ - عُرِضَت فكرة التسييل الصوتى على أنها آلية للحركة السريعة والتدفقات البعيدة المدى، ولكنها لم تلق ترحيبا واسع النطاق. فما هى الاختبارات أو التحاليل التى يمكن إجراؤها لتقييم حقيقتها؟

٤ - قيِّم أخطار حركات الكتل على سكان المناطق الساحلية فى جنوب شرقى بركان كيلويا فى هاواى.

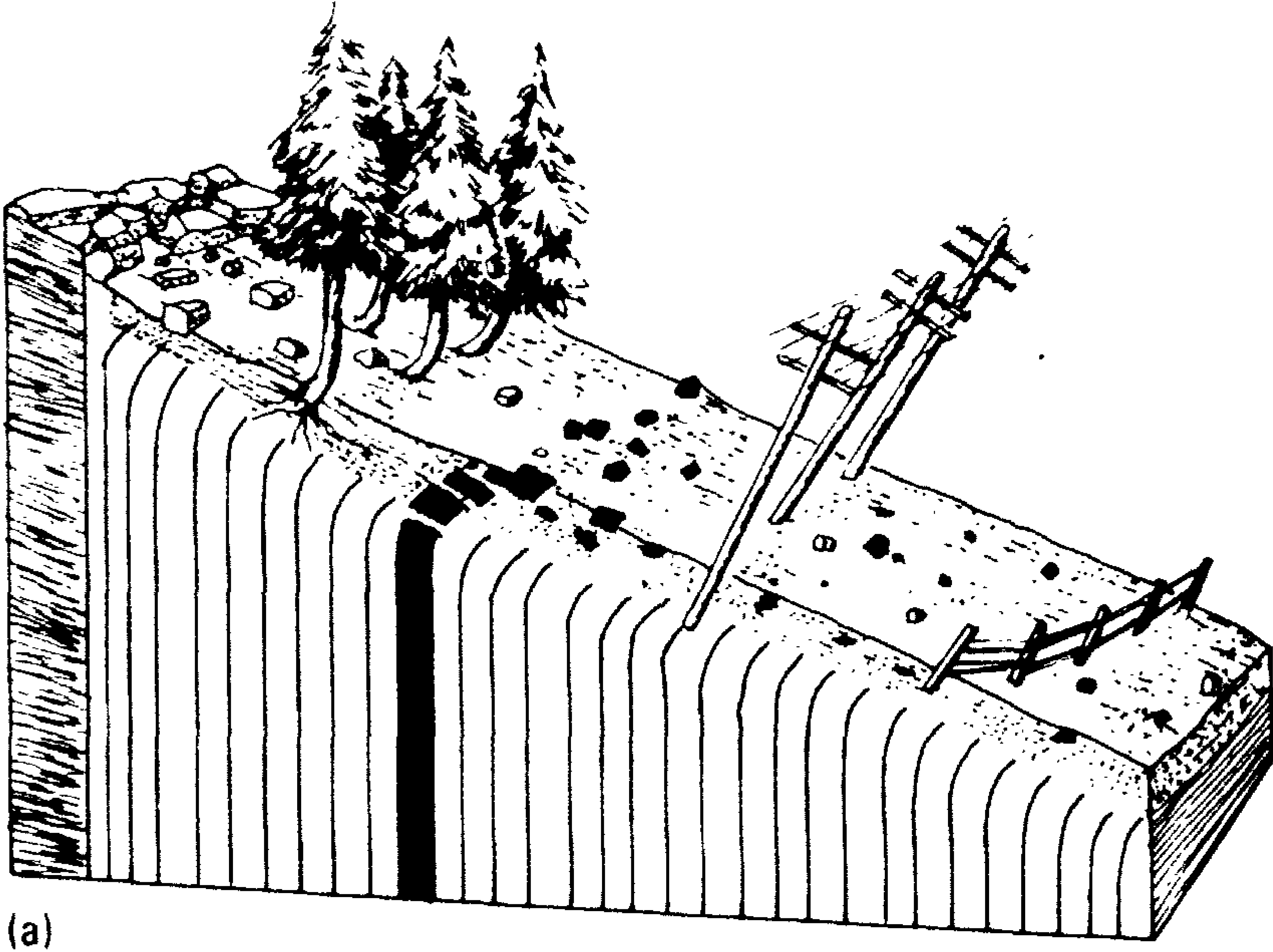
٥ – هل يستطيع السحب الجائر لكميات كبيرة من الماء الجوفي أو النفط تحفيز حركة على صدع نشيط؟

٦ – كيف تحمي نفسك من انهيارات الكهوف الكبيرة التي تكوِّن بالوعات؟

أشكال الفصل الثامن



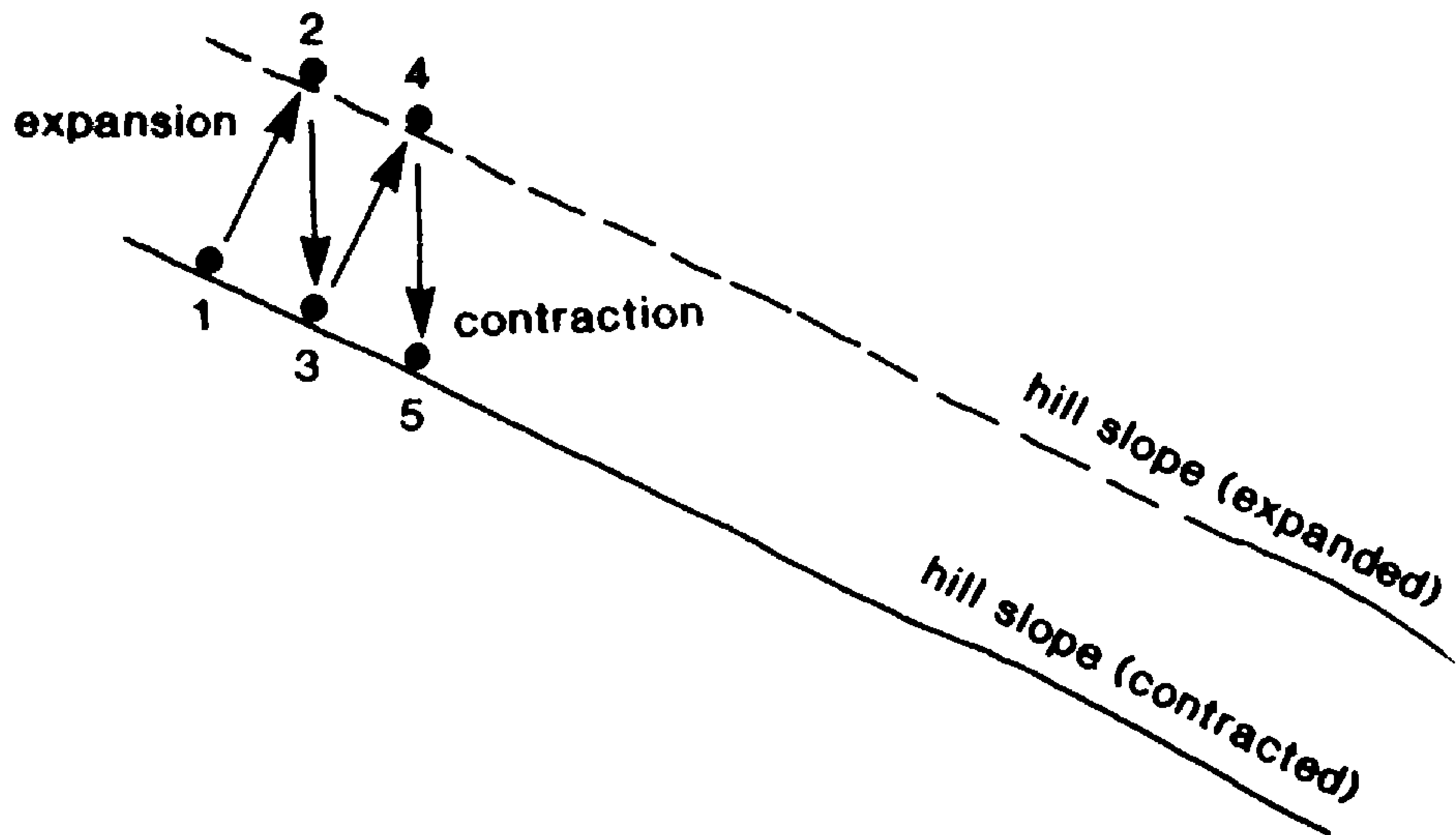
الشكل (٨-١) القوى الجاذبة تعمل على جلمود وزنه رطل ويقع فوق منحدر ميله ٣٠ درجة.



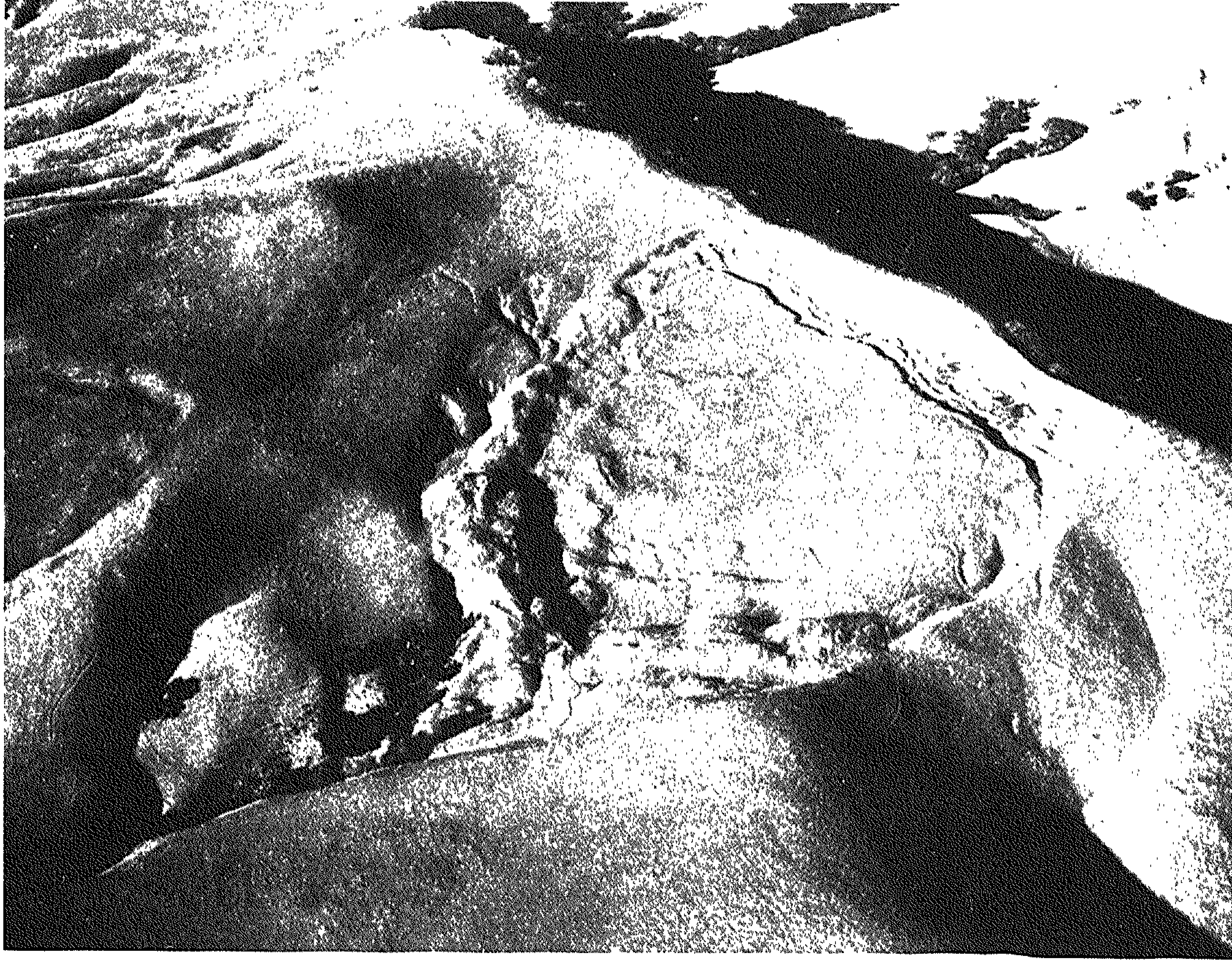
الشكل (٨-٢) (أ) رسم تخطيطي مكعب لمنحدر يوضح آثار الزحف. فالتربة تتحرك ببطء وصخر الأساس يتشوه إلى أسفل التل.



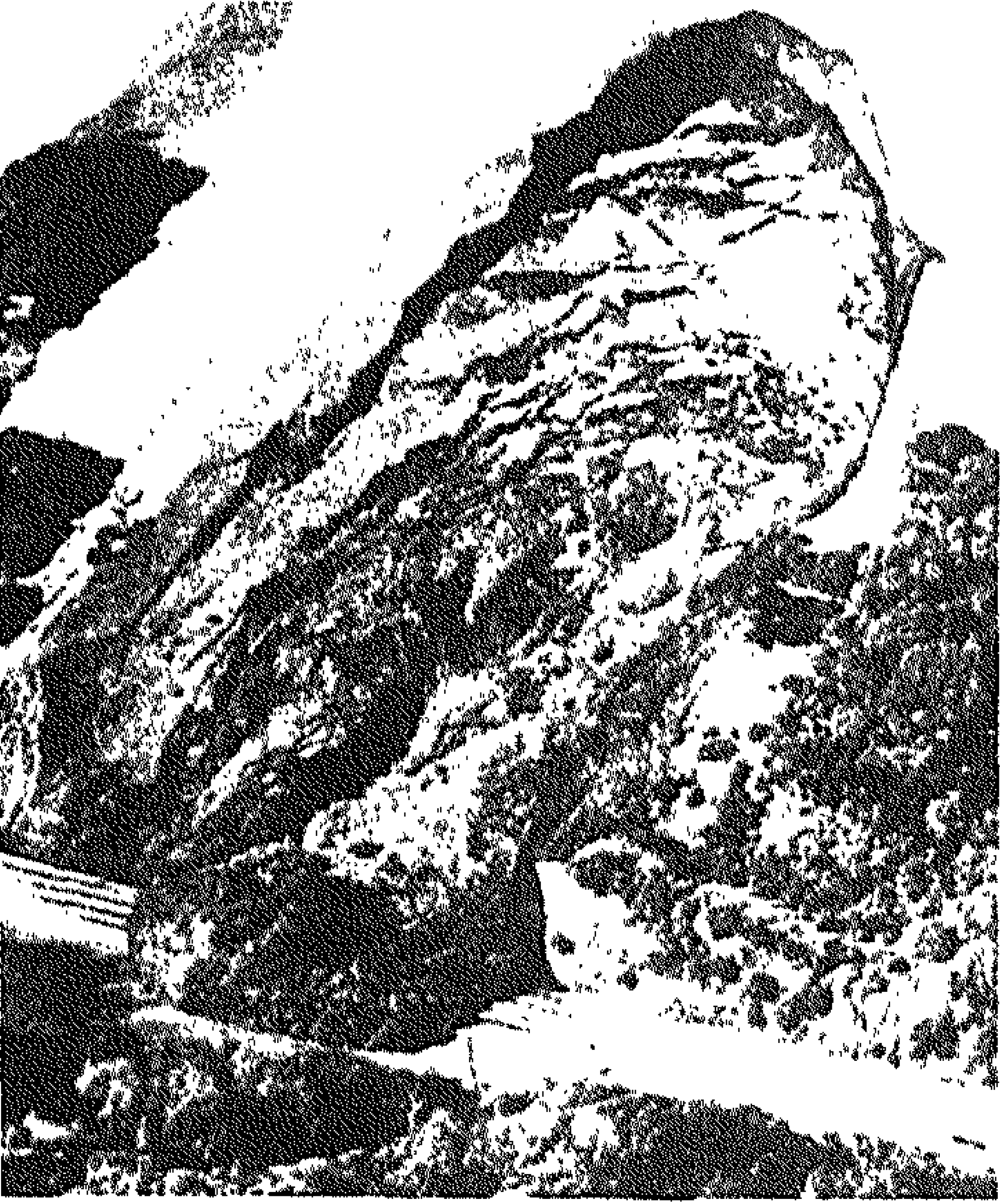
الشكل (٨-٢) (ب) شوه الزحف طبقات الصخر بالقرب من ماراثون في تكساس.

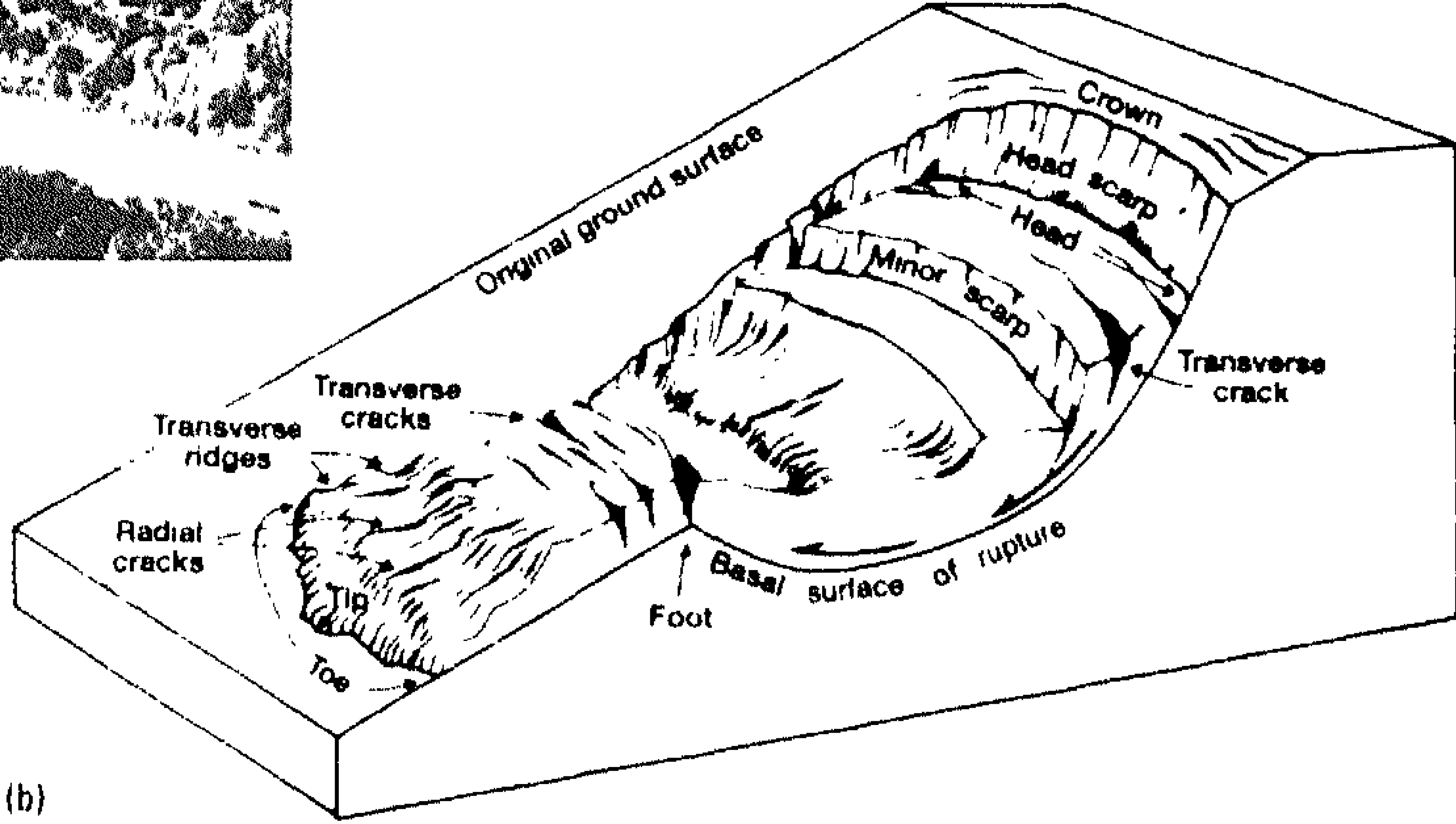


الشكل (٨-٣) كيف يحدث الزحف. يتمدد سطح المواد عموديا (مثلما هو واضح من النقطة ١ إلى النقطة ٢) عند تجمد الماء فى المسام وينتفخ عندما يتبلل ويسخن بحرارة الشمس. ويتقلص سطح المواد (مثلما هو واضح من النقطة ٢ إلى النقطة ٣) عندما يذوب الثلج ويجف ويبرد. فالانكماش (التقلص) يحدث تحت تأثير الجاذبية. ويكون متجها إلى مركز الأرض. ونتيجة لذلك تحدث حركة الانزلاق الخالصة إلى أسفل المنحدر، أى الزحف.

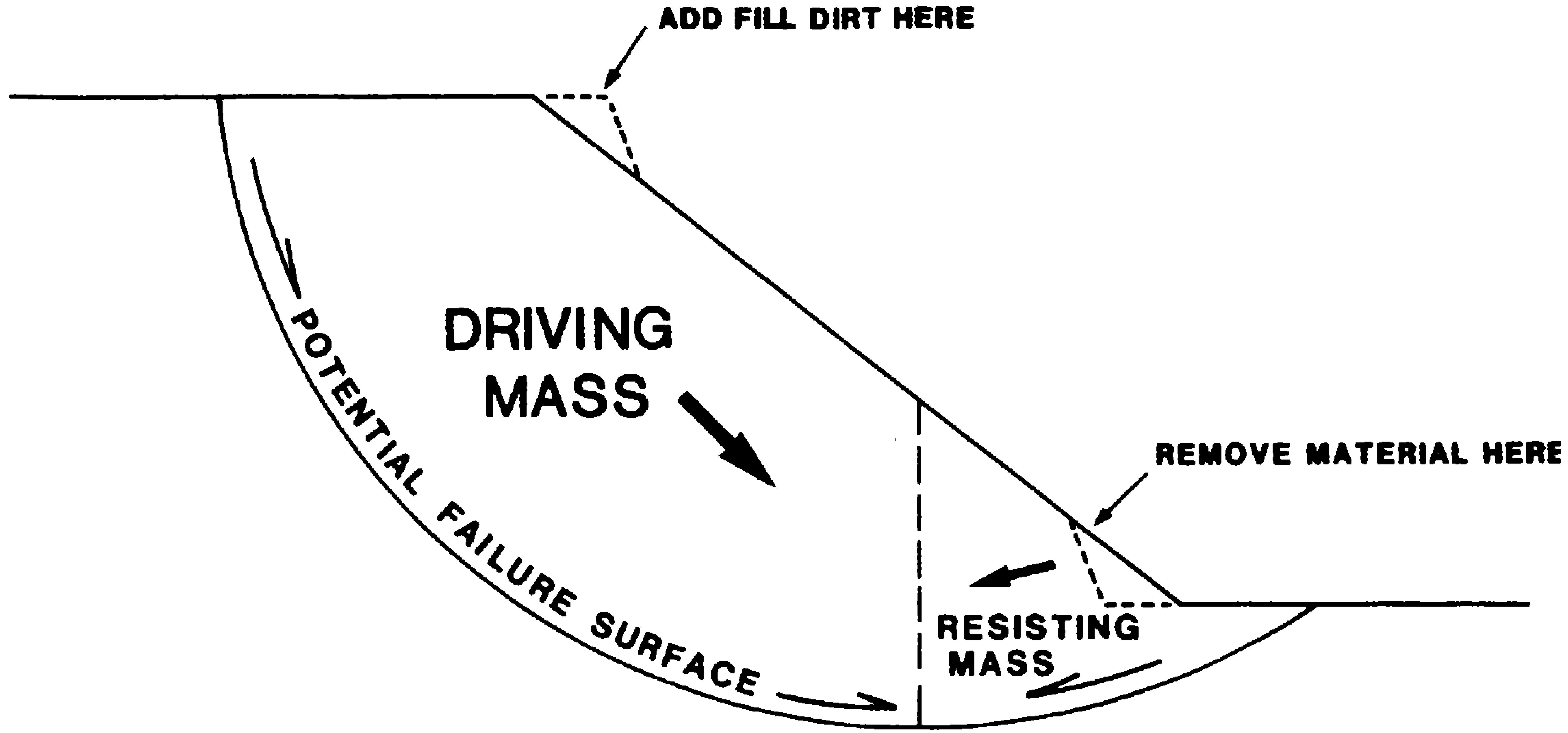


الشكل (٨-٤) زحف على نطاق واسع فى أعلى التل يتدرج ليصبح تدفقات أسرع إلى أسفل المنحدر فى وسط كاليفورنيا.



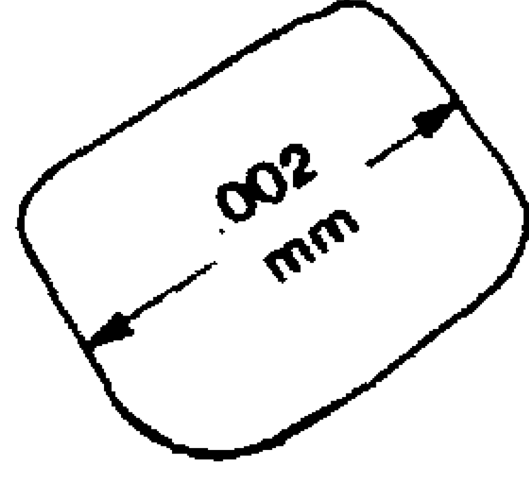


الشكل (٨-٥) (أ) انزلاق أرضي يوضح الحركة إلى أسفل وإلى الخارج. (ب) وتتكون بعض التضاريس الطبوغرافية من الانزلاق في حركاته إلى أسفل وإلى الخارج.



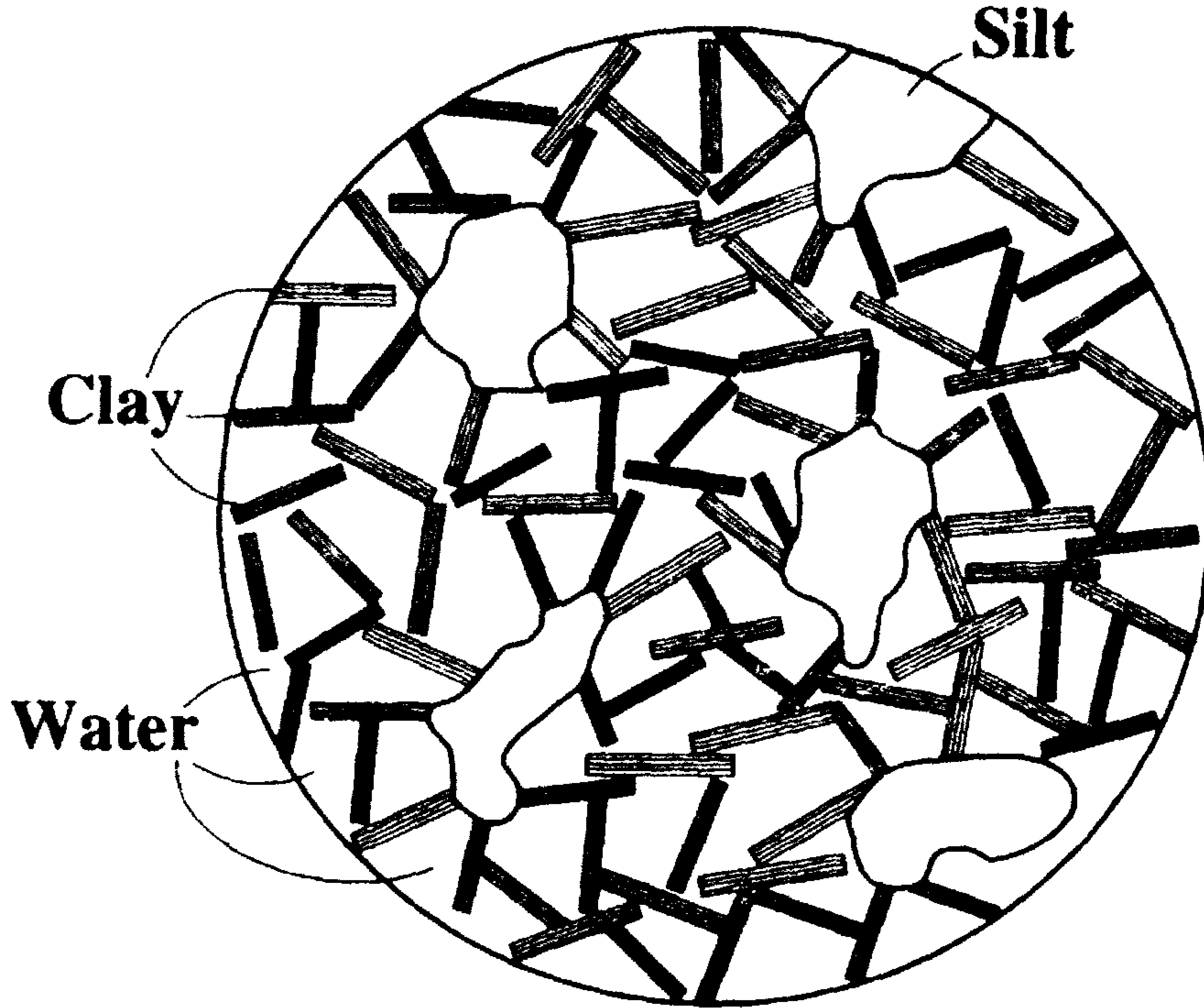
How to cause a landslide: (1) Load the head, (2) Reduce the toe

الشكل (٨-٦) ميل لأحد التلال مكوَّن من مواد متجانسة ربما ينهار على سطح قاعدى مقوس. والمنحدر متوازن عندما يمنع جزء من الكتلة الطاردة بفعل جزء من الكتلة المقاومة. فإذا زادت الكتلة الطاردة أو أزيلت (أو نقصت) الكتلة المقاومة حدث الانزلاق. فهل يذكِّرك هذا الموقف بأية إنشاءات فى منطقتك؟





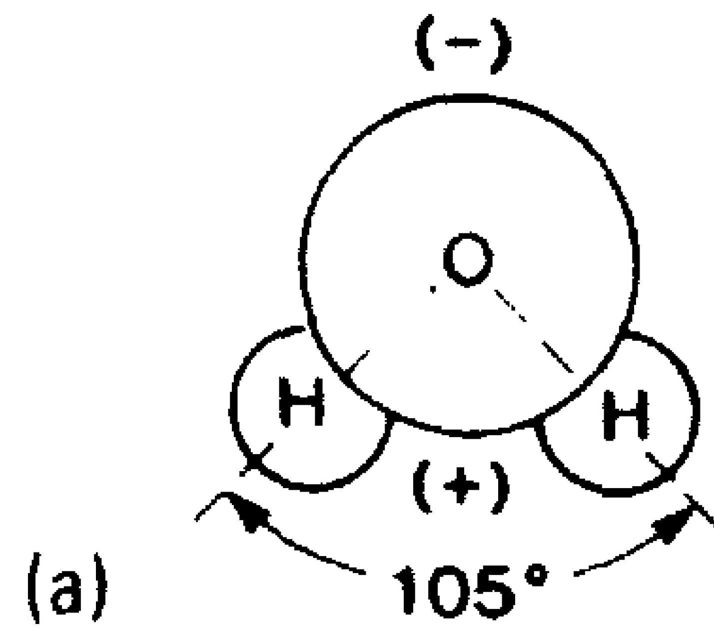
الشكل (٨-٧) مناظر تخطيطية لحجم وتكوين معدن الصلصال.

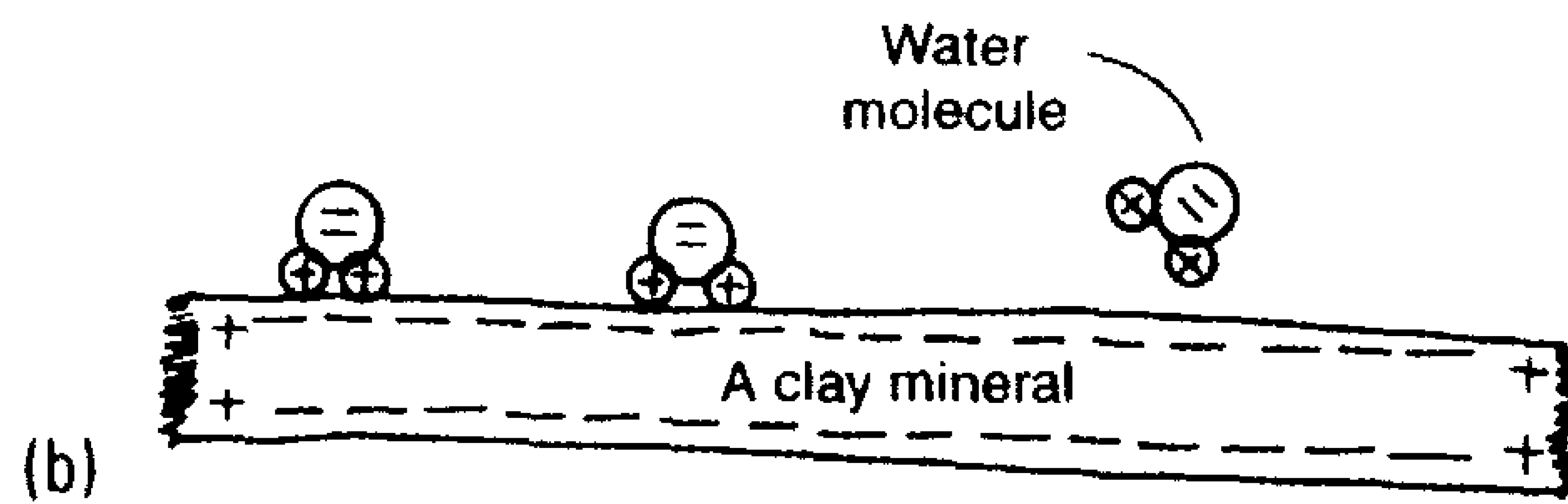


الشكل (٨-٨) تركيبة «منزل من أوراق اللعب» فى الصلصال السريع. فرقائق معدن الصلصال متشابكة فى وضع نسبى غير مستقر بحبيبات الغرين وكثير من الماء.

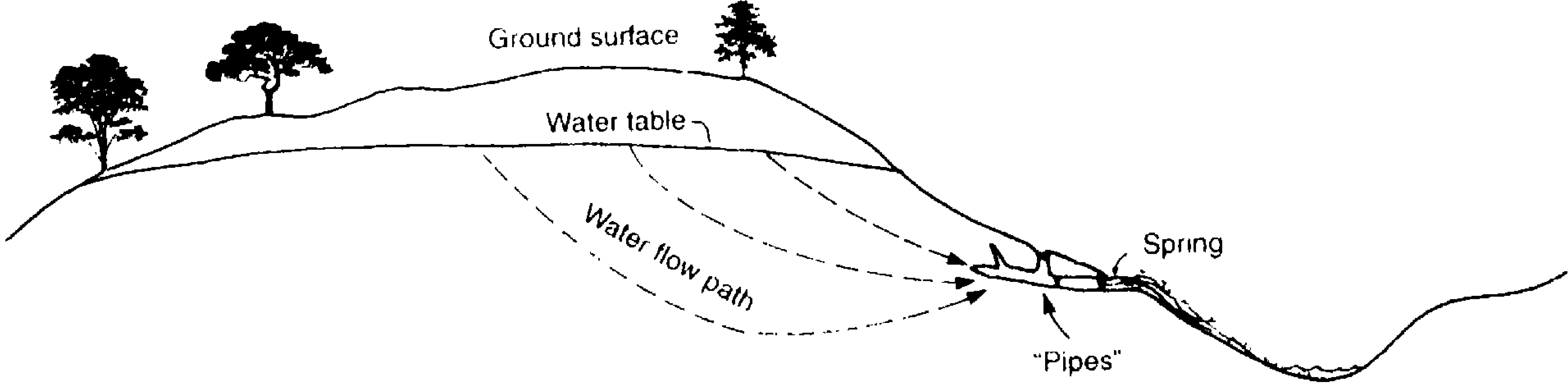


الشكل (٨-٩) تدفق كتلة من الصلصال السريع والرمل مقدارها ٣.٥ مليون متر مكعب فى نهر ساوث بيشن بالقرب من ليميو فى أونتاريو فى كندا فى يوم ٢٠ يونية ١٩٩٣. وفى أعلى اليمين طريق المحافظة رقم ١٦.

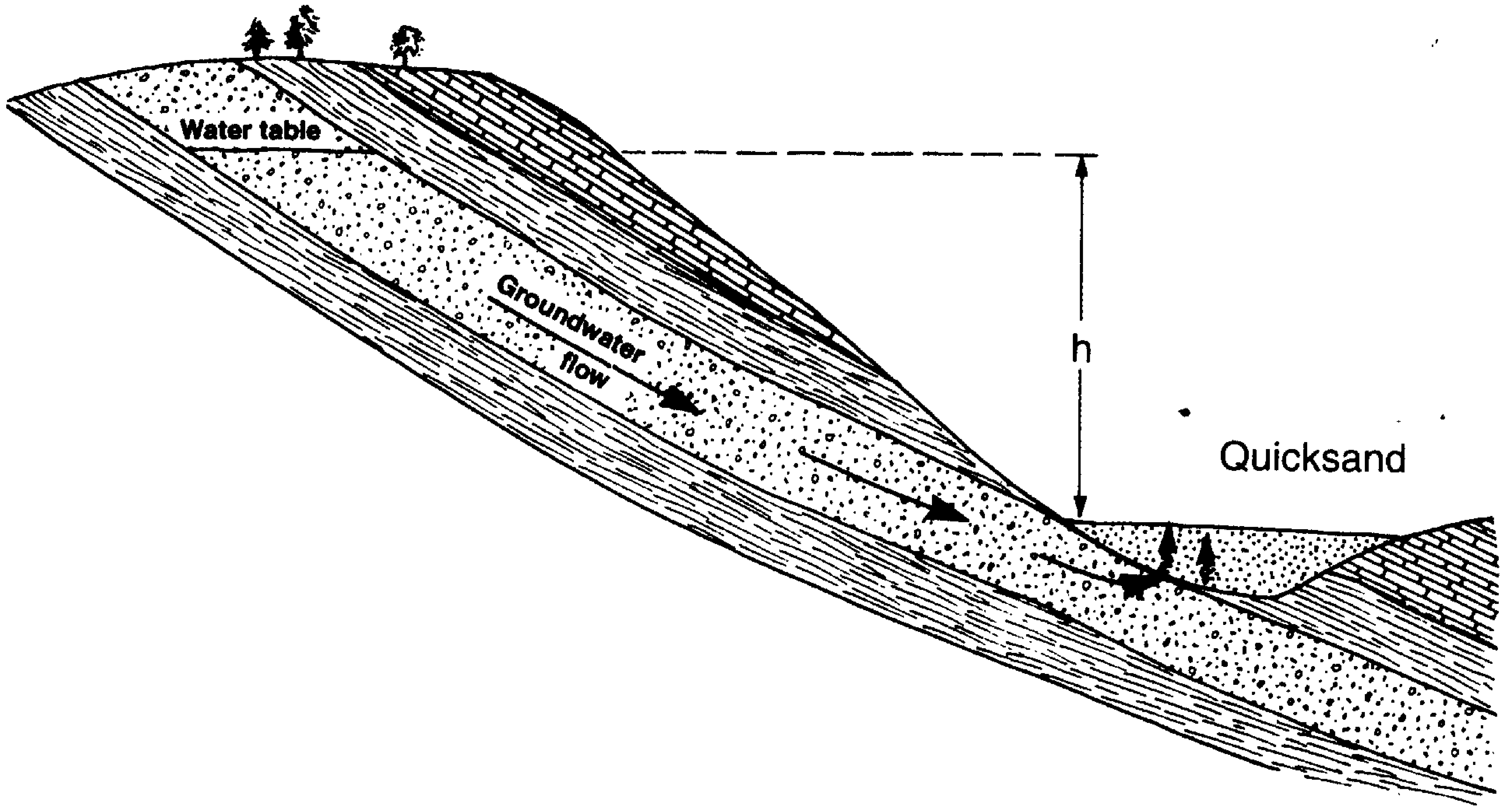




الشكل (٨-١٠) (أ) الماء ذو جزئ ثنائي الأقطاب. فذرتان من الإيدروجين (كل منها H^+) تتحدان مع ذرة من الأكسيجين (O^{--}) مكونة جزيئا محايدا كهربائيا. وعلى أية حال، فإن عدم التناسق فى الجزئ يجعل أحد الجوانب سلبيا بسيطا والجانب الآخر إيجابيا. (ب) ويتحد الجانب الإيجابى لجزئ الماء مع سطح معادن الصلصال ذات الشحنة السلبية.



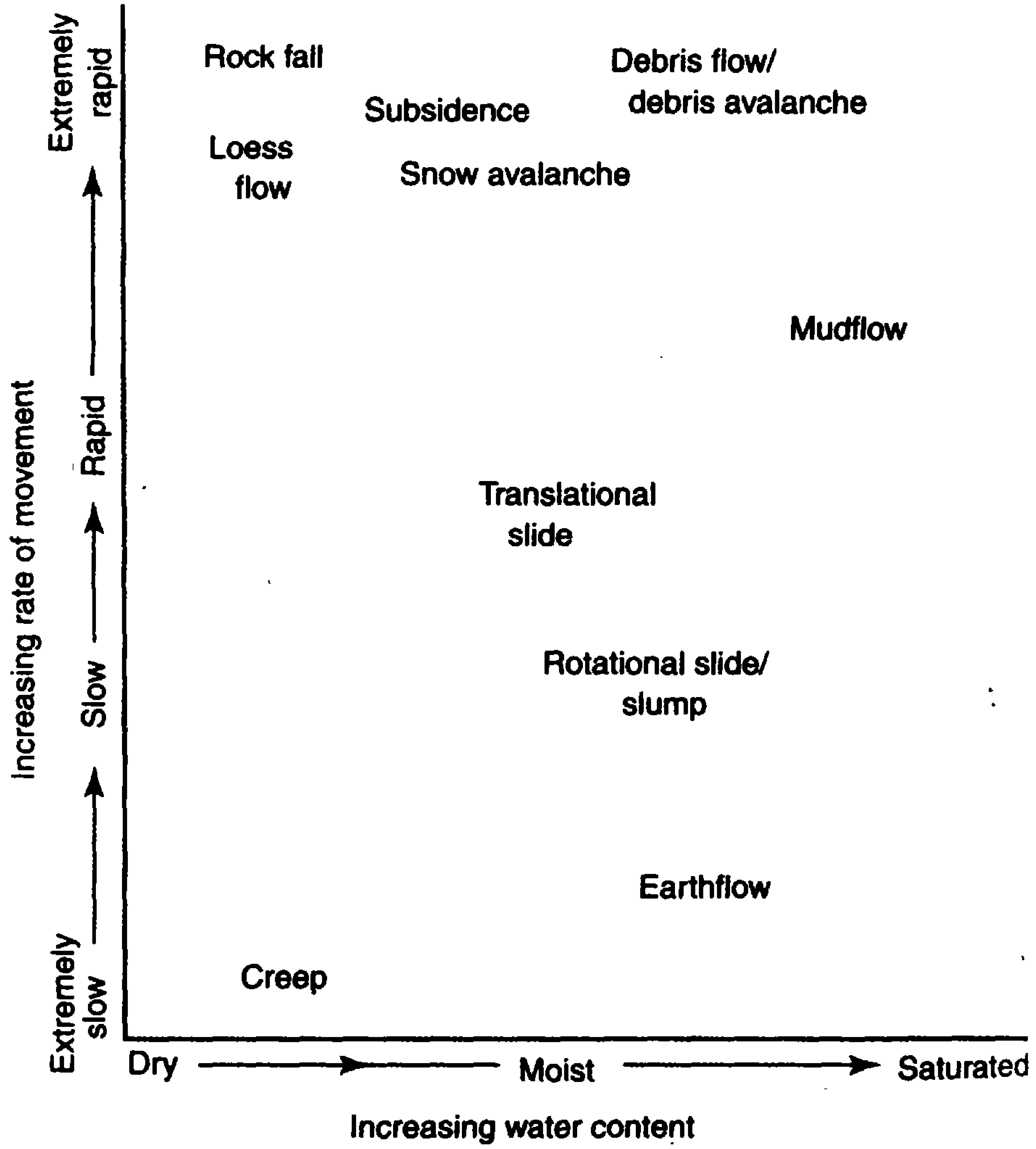
الشكل (٨-١١) قطاع مقطعى تخطيطى للماء الجوفى يتدفق فى صخور ضعيفة التدعيم. ويحمل الماء رواسب إلى السطح عند الينابيع. وهذا التحات يكوِّن شبكة من الكهوف الكبيرة التى تضعف التل إلى درجة الخطورة.



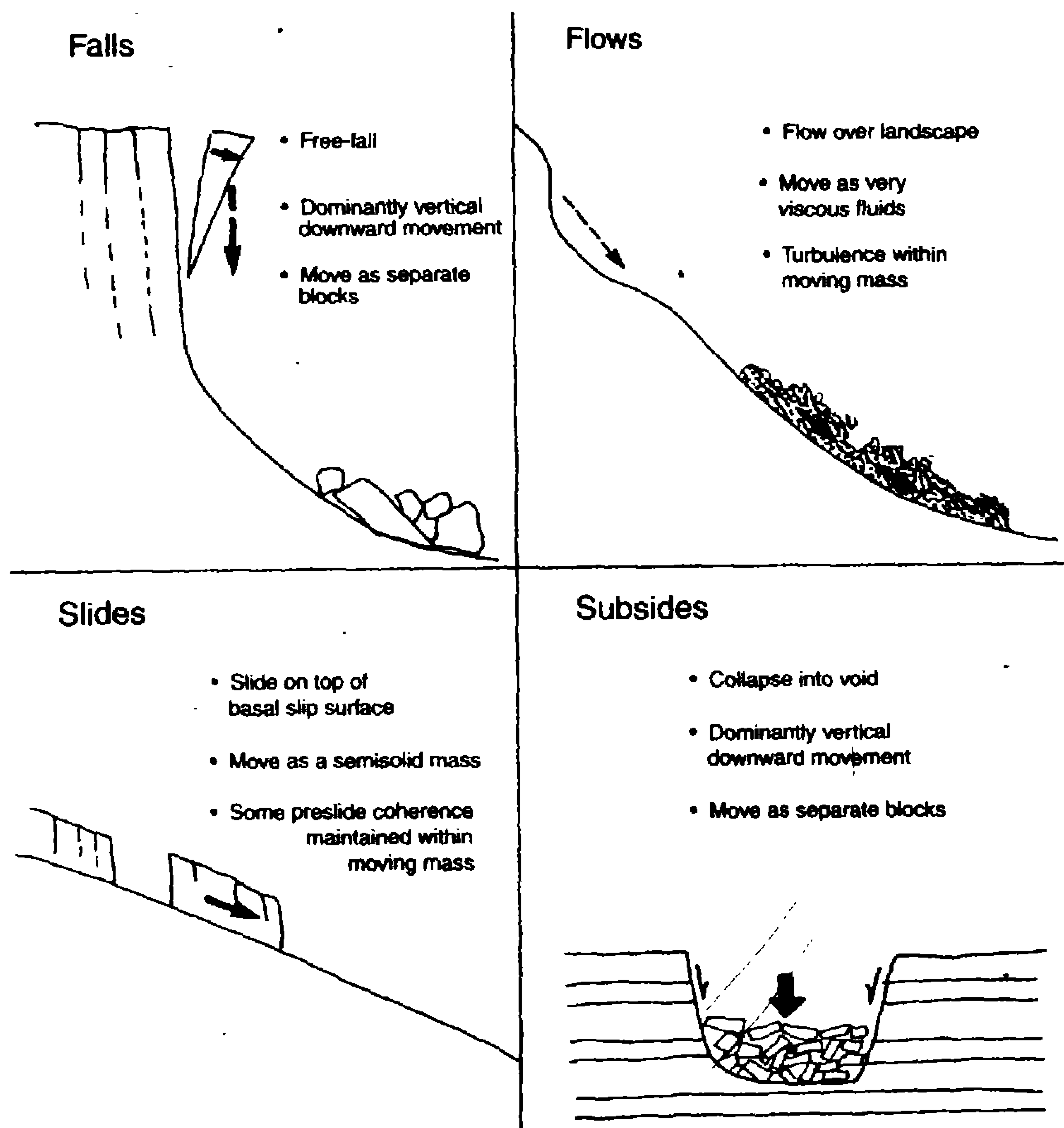
الشكل (٨-١٢) قطاع مقطعي تخطيطي يوضح الماء الجوفي وهو يدفع بعامود مرتفع (h) ويصل إلى السطح من خلال الرمال الحرة. وتعادل قوة الرفع للماء المتسرب وزن حبيبات الرمل فتصنع الرمل السواخ.



الشكل (٨-١٢) قطعة من سطح منزلق قاعدى أملس ومخدوش تكوَّن من ثقل كتلة منزلقة راكبة. ورىُ الفناء الذى قام به ملاك المنازل مدَّد المعادن الصلصالية، فاستعاد نشاط الانزلاق الأرضى القديم ودمر سبعة منازل فى سان دييجو فى كاليفورنيا.



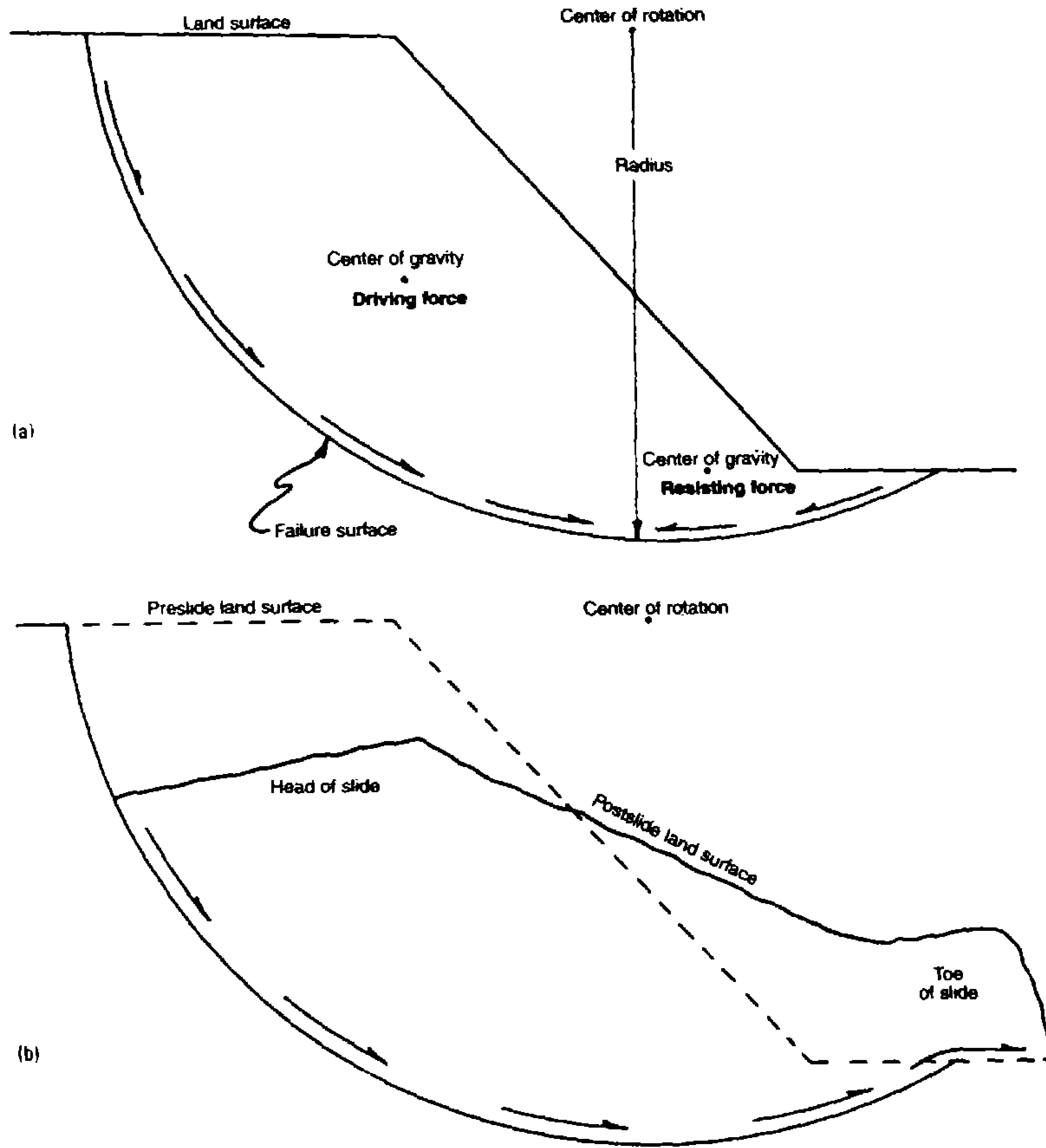
الشكل (٨-١٤) سرعة حركات الكتل مقابل المحتوى من الرطوبة.



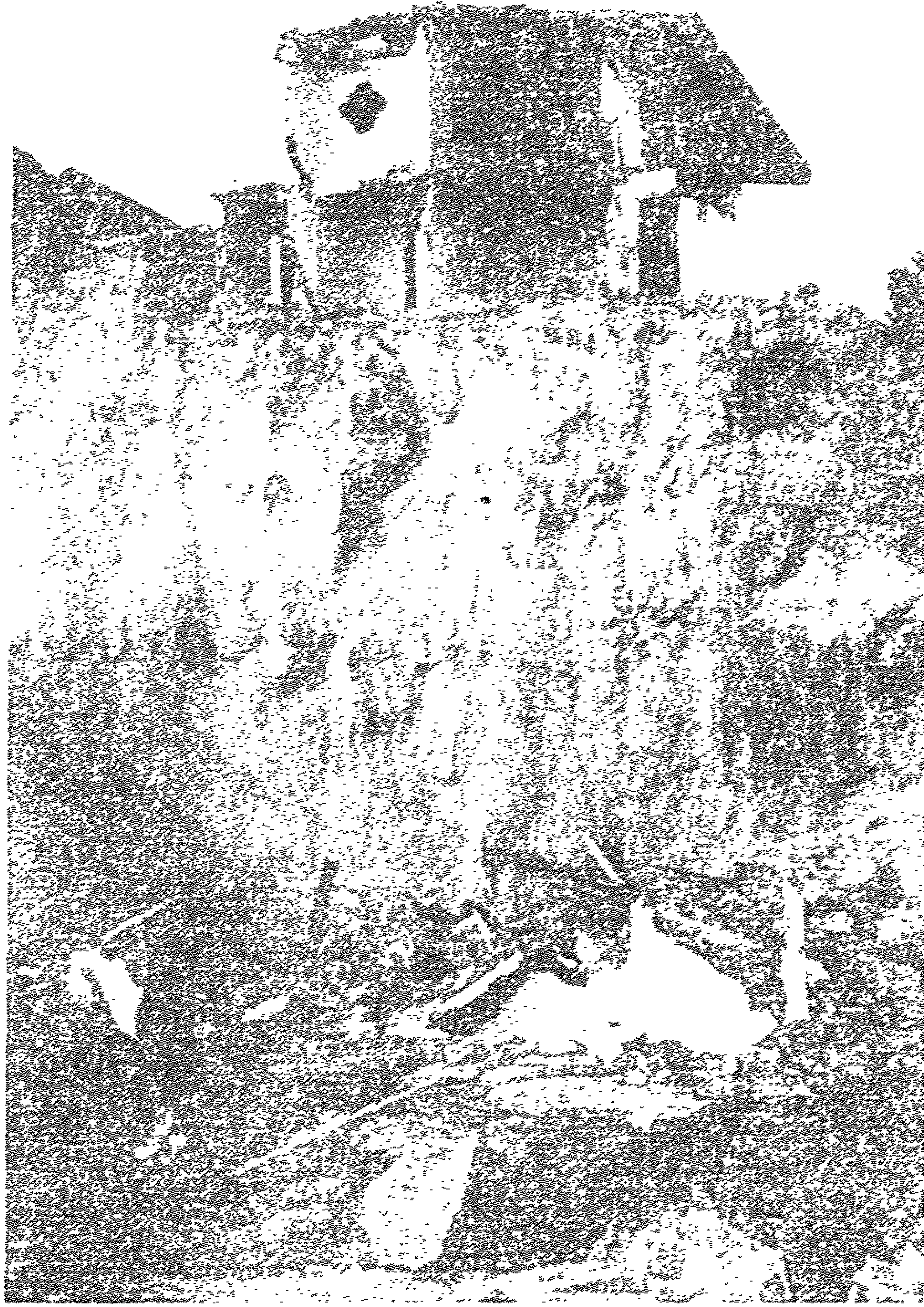
الشكل (٨-١٥) تصنيف حركات الكتل.



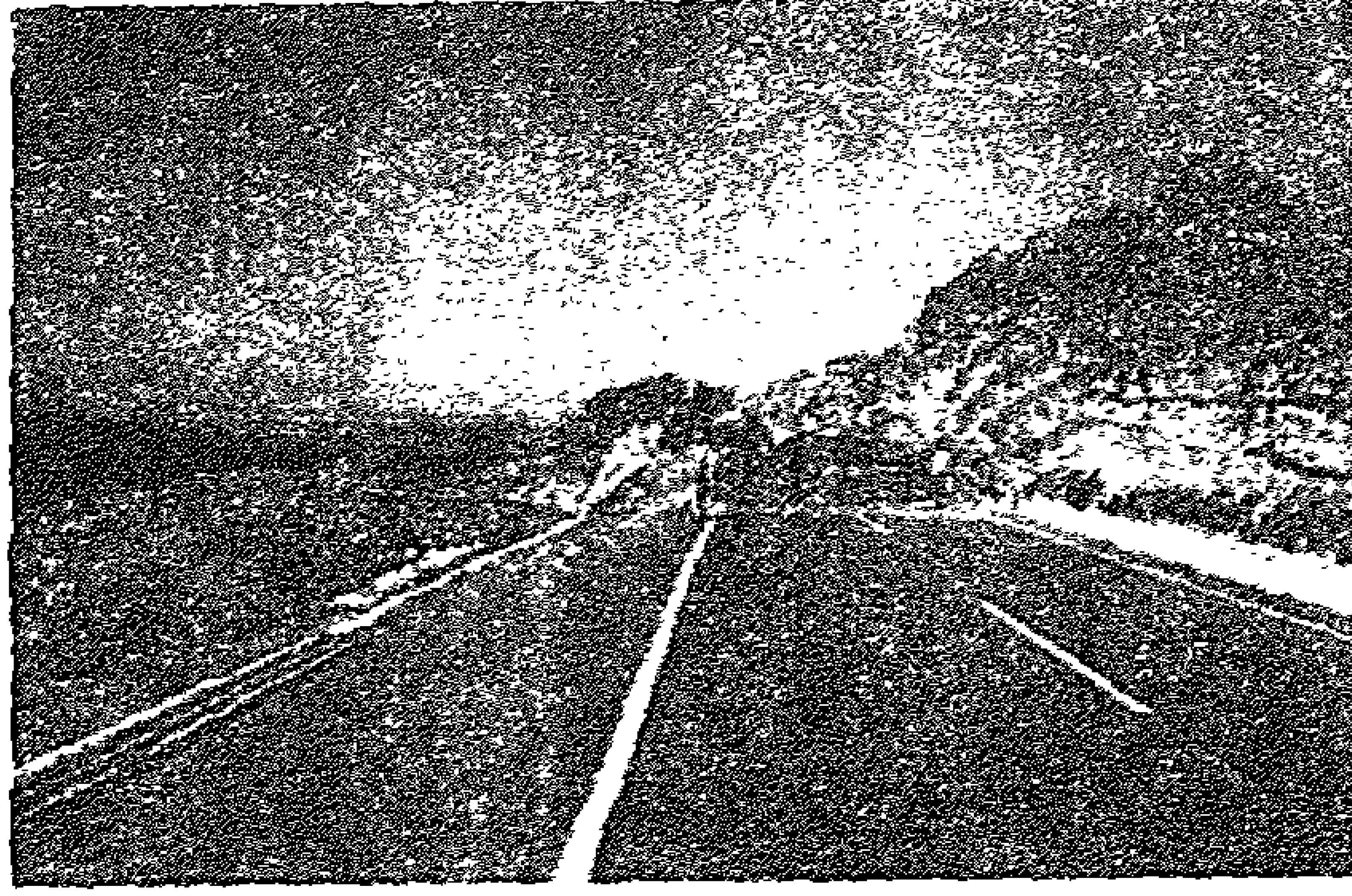
الشكل (٨-١٦) سقوط من واجهة أحد الجروف في نيوزيلاند.



الشكل (٨-١٧) (أ) تحليل الدائرة السويدية لاستقرار المنحدر. فتوضع البوصلة في مركز الدوران، ثم يتأرجح القوس بالقرب من سطح الأساس. وتساعد حسابات القوى الطاردة والقوى المقاومة على تحديد استقرار المنحدر. (ب) انزلاق دوراني ذو حركة حول محور الدوران. لاحظ ميل الرأس إلى الخلف مع بروز القدم إلى الأمام.



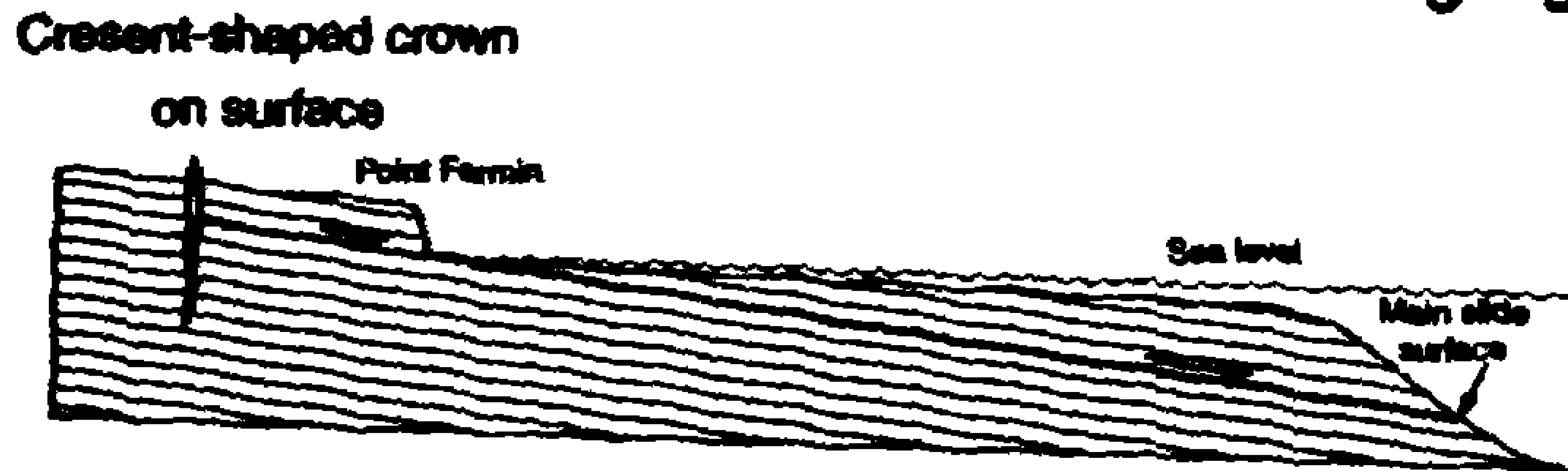
الشكل (٨-١٨) جزء من رأس المنحدر الشديد فى انزلاق دورانى فى ١٩٧٦ فى إينسينادا فى باجا كاليفورنيا. والفرع الموضح هو مجموع الحركة لعدة أسابيع. قتل شخصان فى هذا المنزل عندما مزقت الأرض المتحركة خط أنابيب الغاز الطبيعى فاختنقا ليلا.



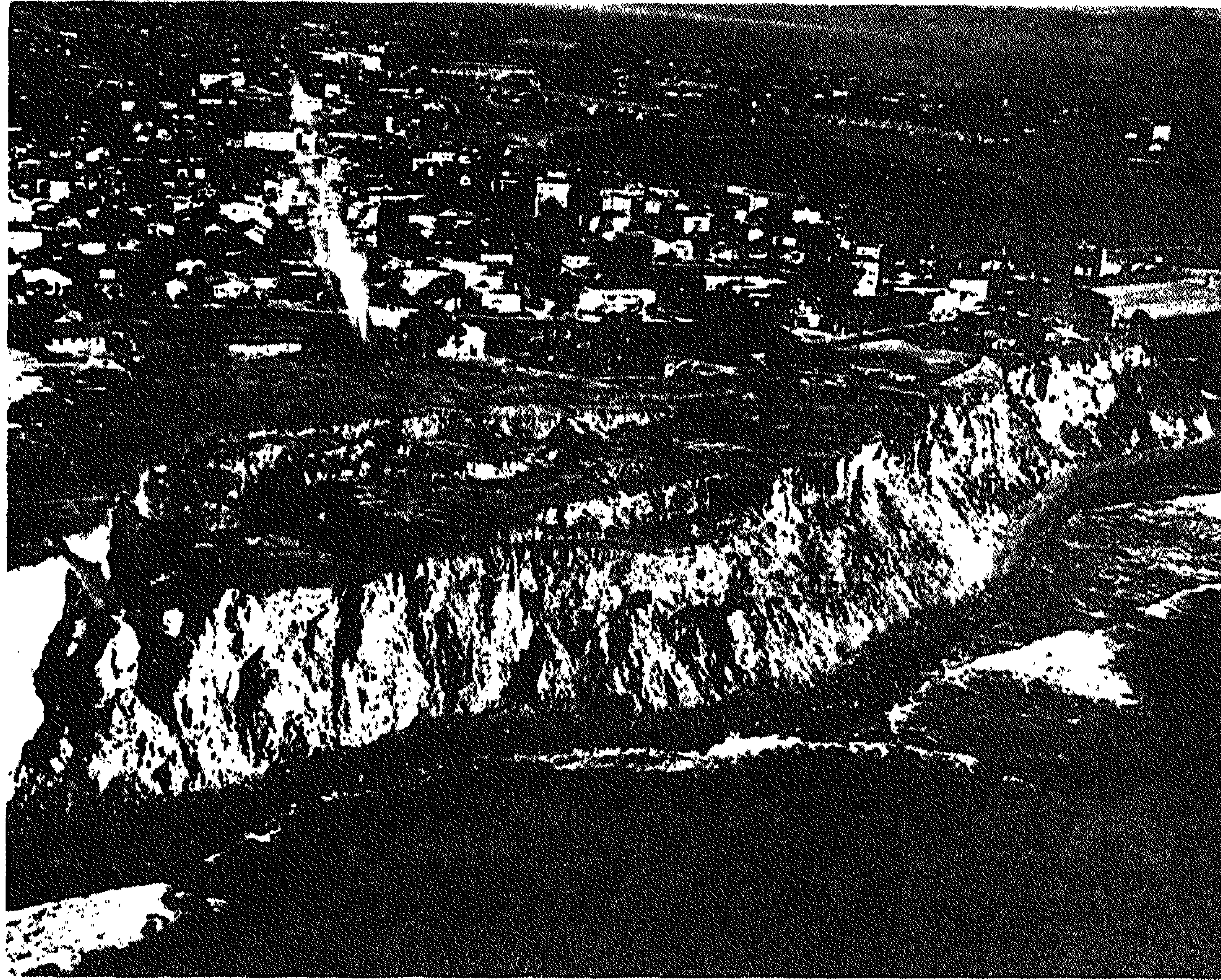
الشكل (٨-١٩) المنظر شمالا على جانب انزلاق إينسينادا. لاحظ انتقال الطريق الرئيسى رقم ١ بالمكسيك نحو البحر.



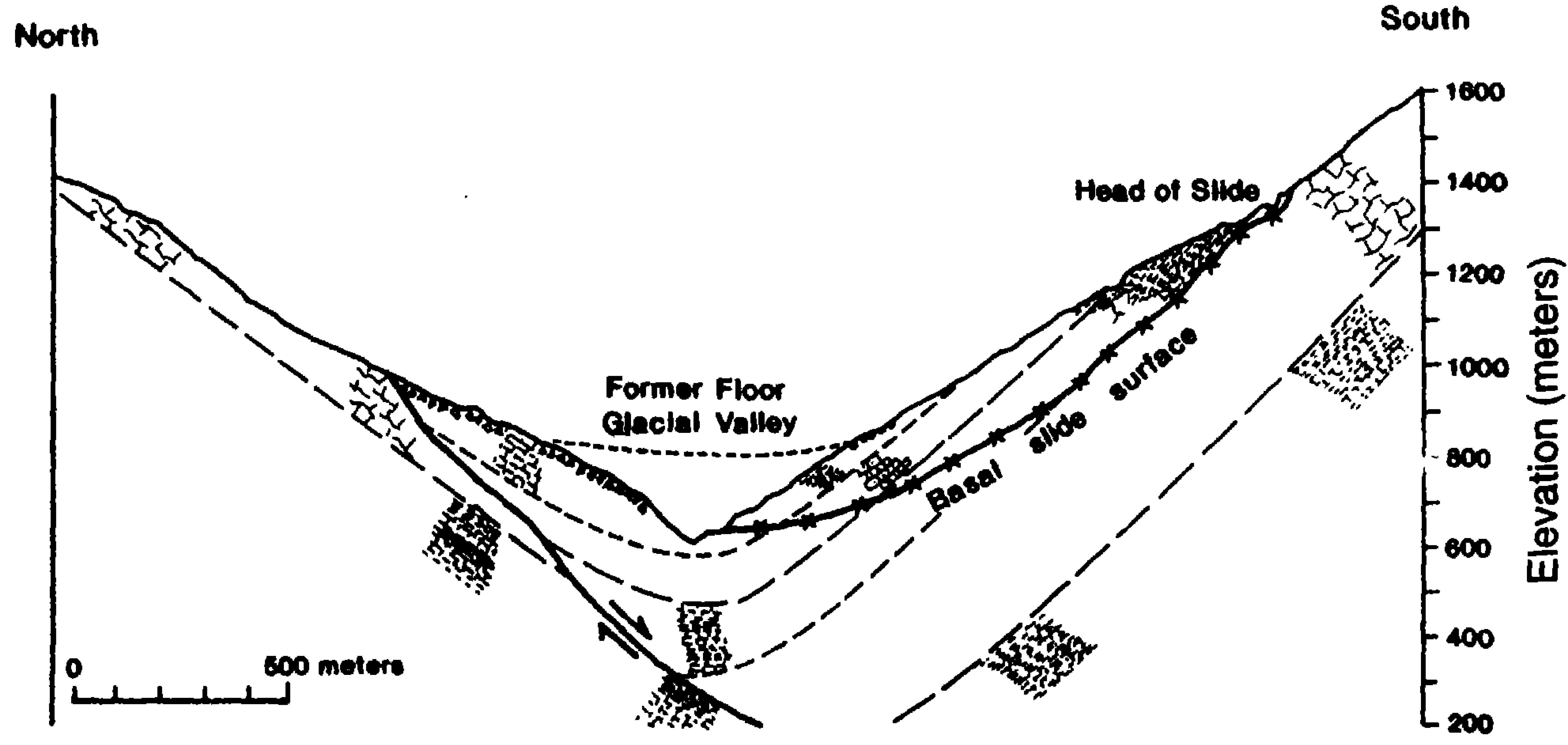
الشكل (٨-٢٠) قدم انزلاق إينسينادا. ارتفع قاع المحيط فوق مستوى سطح البحر بمقدار انبعاج القدم إلى أعلى.



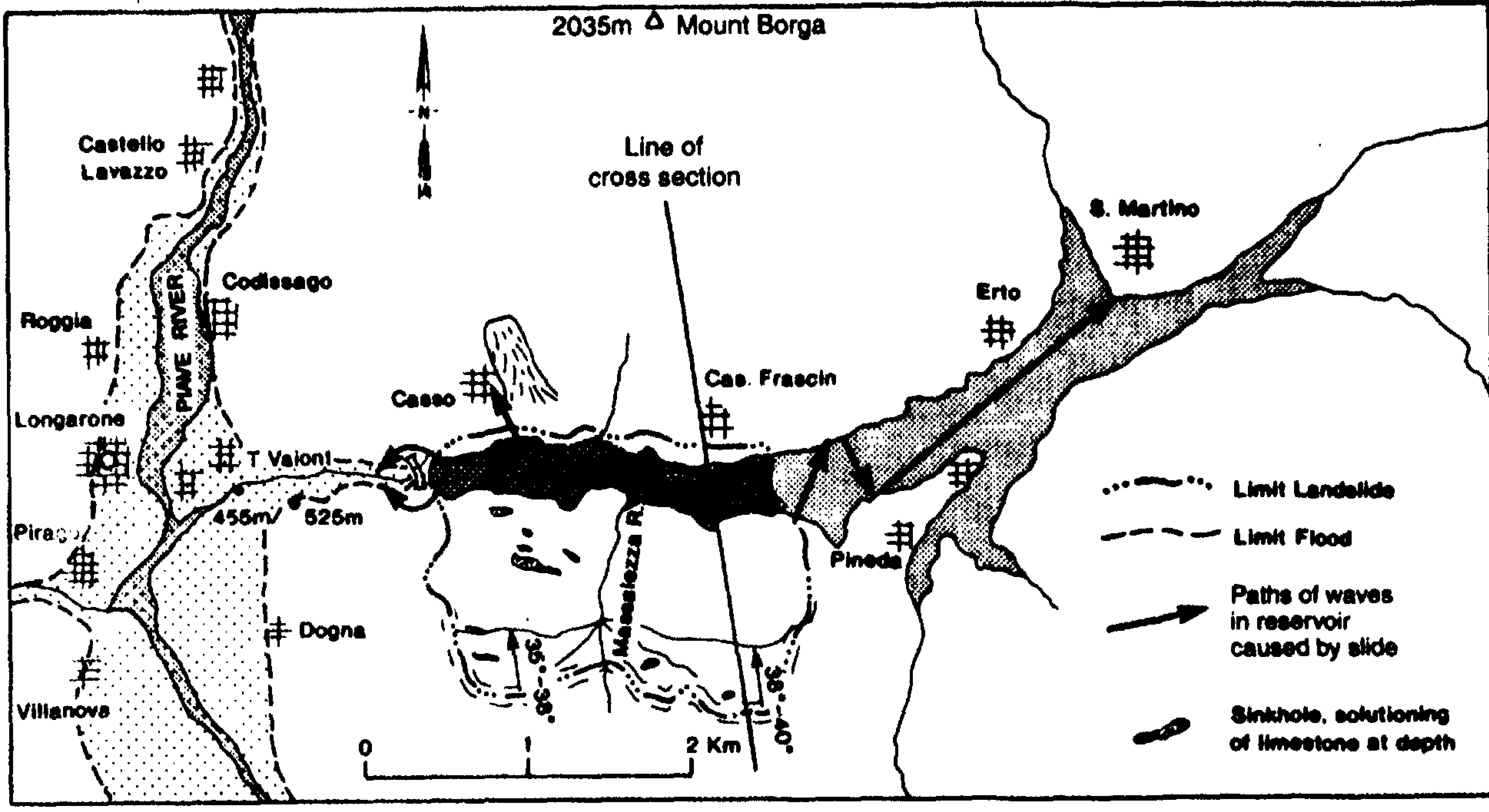
الشكل (٨-٢١) قطاع مقطعى فى بوينت فيرمين يوضح انزلاق كتلة من فوق طبقة صلصالية زلقة منحدرة. والحركة فى اتجاه المنحدر غير المدعم (المسنود) الواقع قبالة الشاطئ.



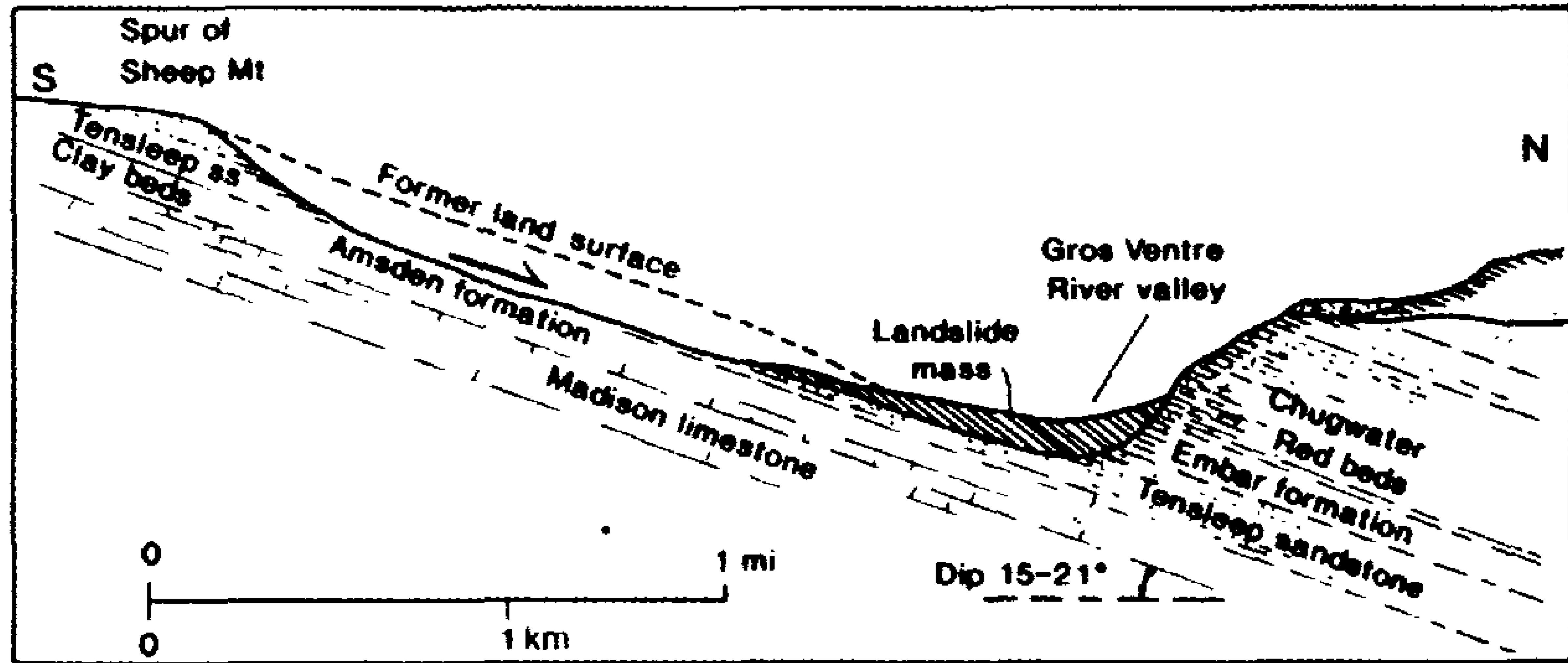
الشكل (٨-٢٢) منظر لرأس الانزلاق التحويلى فى بوينت فيرمين. لاحظ ألواح الأساس للمنازل المدمرة. وتوجد سان بيدرو فى خلفية الصورة.



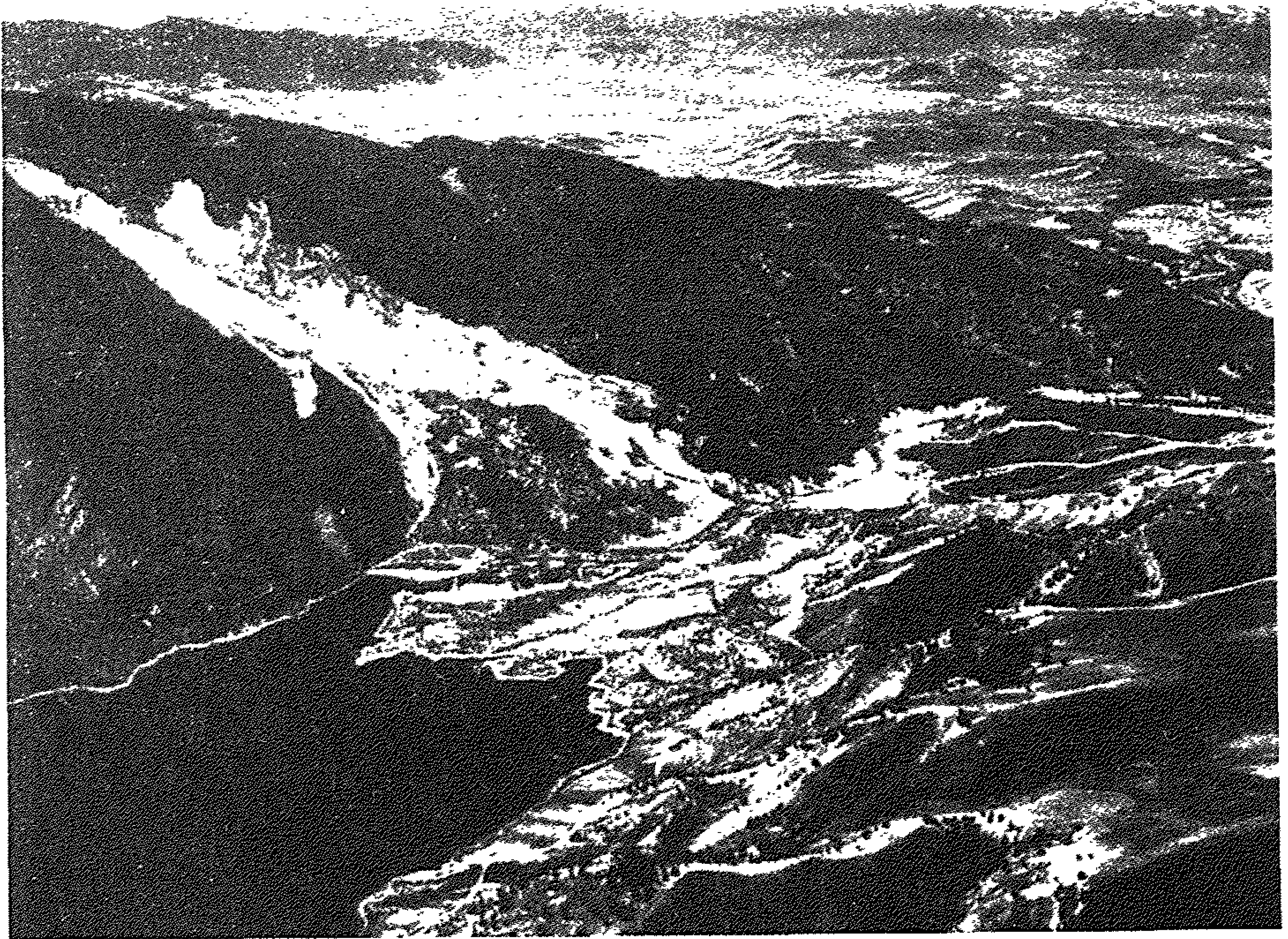
الشكل (٨-٢٣) قطاع مقطعي شمالي جنوبي على خزان ڤايونت. تحرك المنحدر فوق سطوح الكسر الموازية لقاع الوادى الجليدى السابق. ويوضح الشكل ٨-٢٤ موقع هذا القطاع المقطعي.



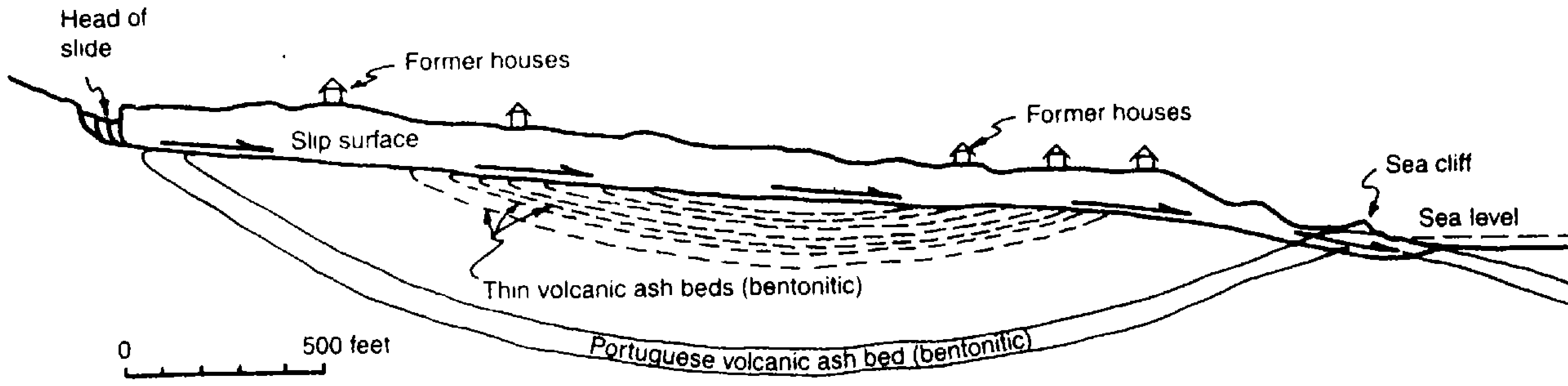
الشكل (٨-٢٤) خريطة منطقة خزان ڤايونت توضح أوضاع الكتل المنزلقة والمدن المتضررة من الفيضان الكارثي.



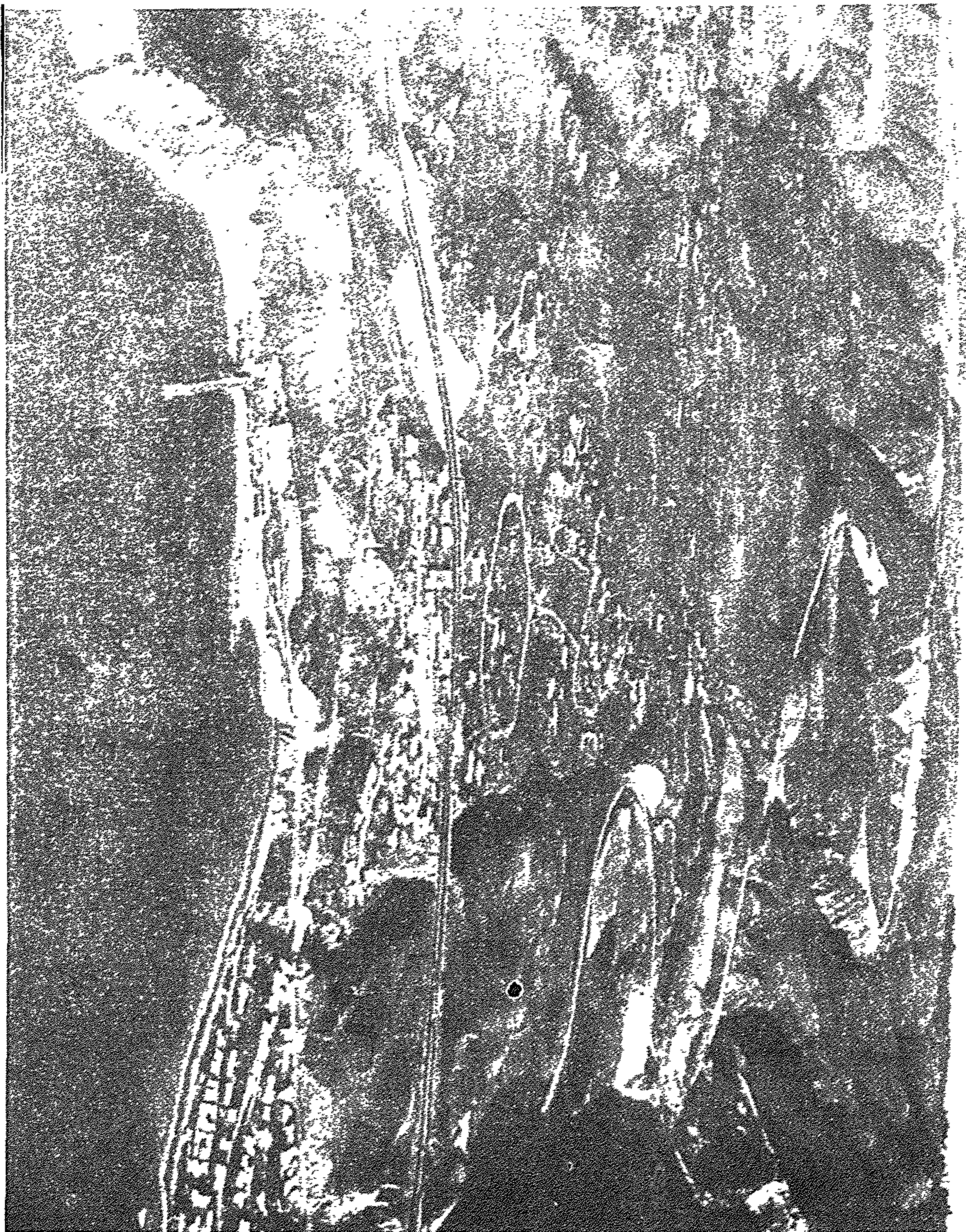
الشكل (٨-٢٥) قطاع مقطعي على وادى نهر جروس فينتر توضح الانزلاق الأرضي في عام ١٩٢٥. لاحظ طبقات الأساس من الحجر الرملي والحجر الجيري والصلصال المائلة إلى الشمال. وقد انزلقت كتل صخرية مكشوفة تحويليا في الوادي.



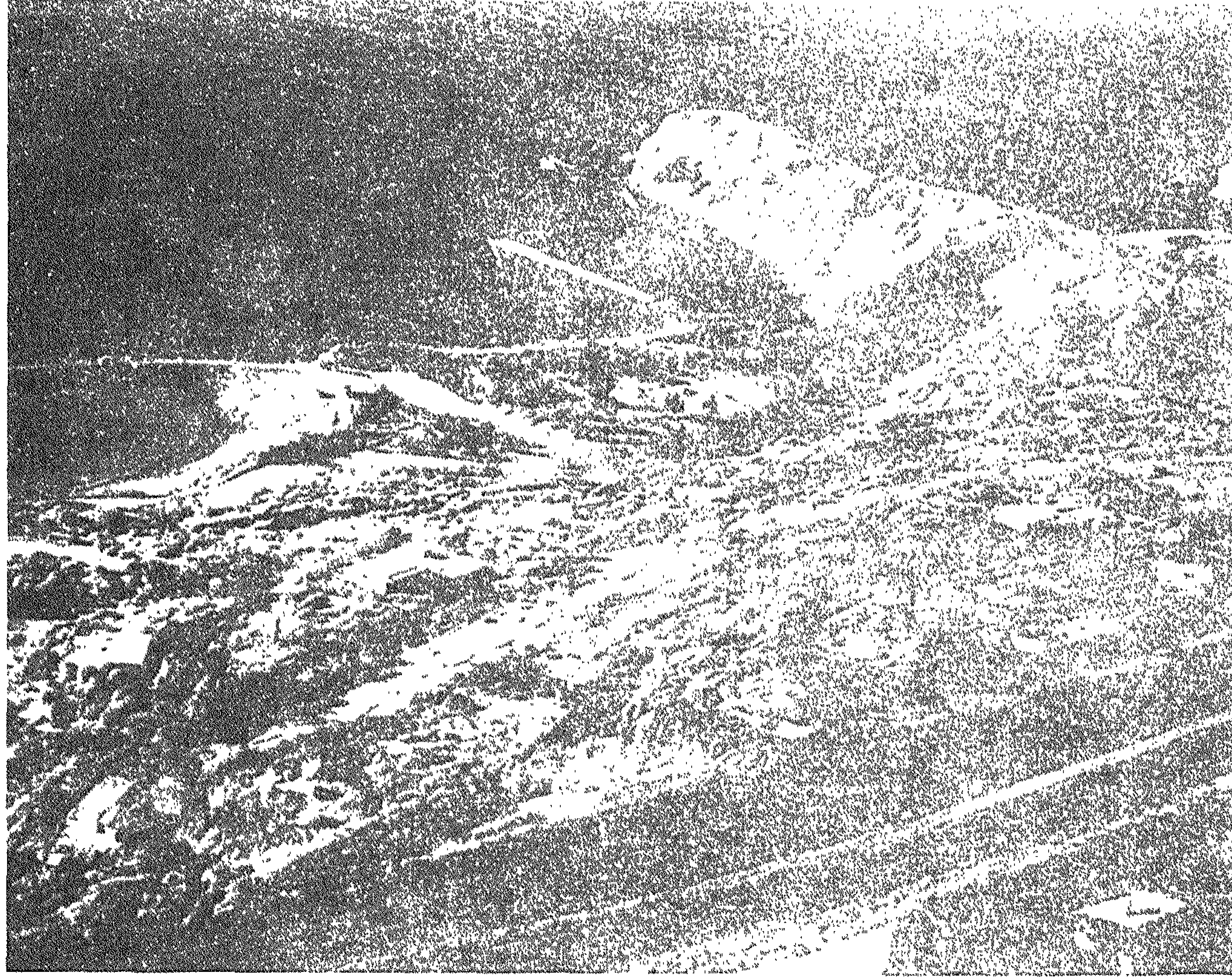
الشكل (٨-٢٦) منظر جنوبي غربي لانزلاق حطام جروس ڤينتر فوق كيلي في يومينج.



الشكل (٨-٢٧) قطاع مقطعي في بورتوجيز بيند يوضح الأساسات المائلة نحو البحر وطبقات الصخور الغنية بصلصال رماد البراكين، وأمواج المحيط تحت قاعدة المنحدر وسطح المنحدر قبل الانزلاق.



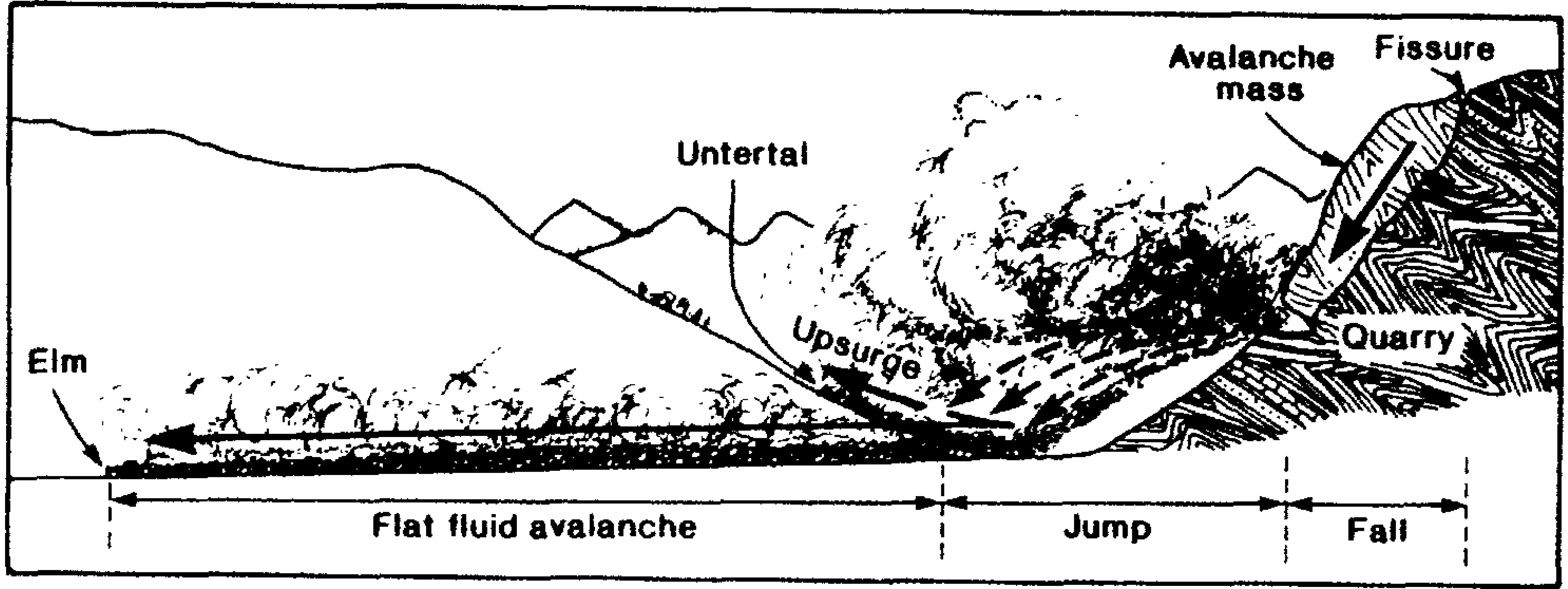
الشكل (٨-٢٨) منظر لمنطقة بورتوجيز بيند في يوم ٥ مارس ١٩٥٨. لاحظ الالتواء في الرصيف الممتد في البحر.



الشكل (٨-٢٩) منظر لبروز قدم تدفق بورتوجيز بيند فى يوم ٢٤ نوفمبر ١٩٥٩. لاحظ أطلال المنازل والطرق والرصيف الخرب الممتد فى البحر.



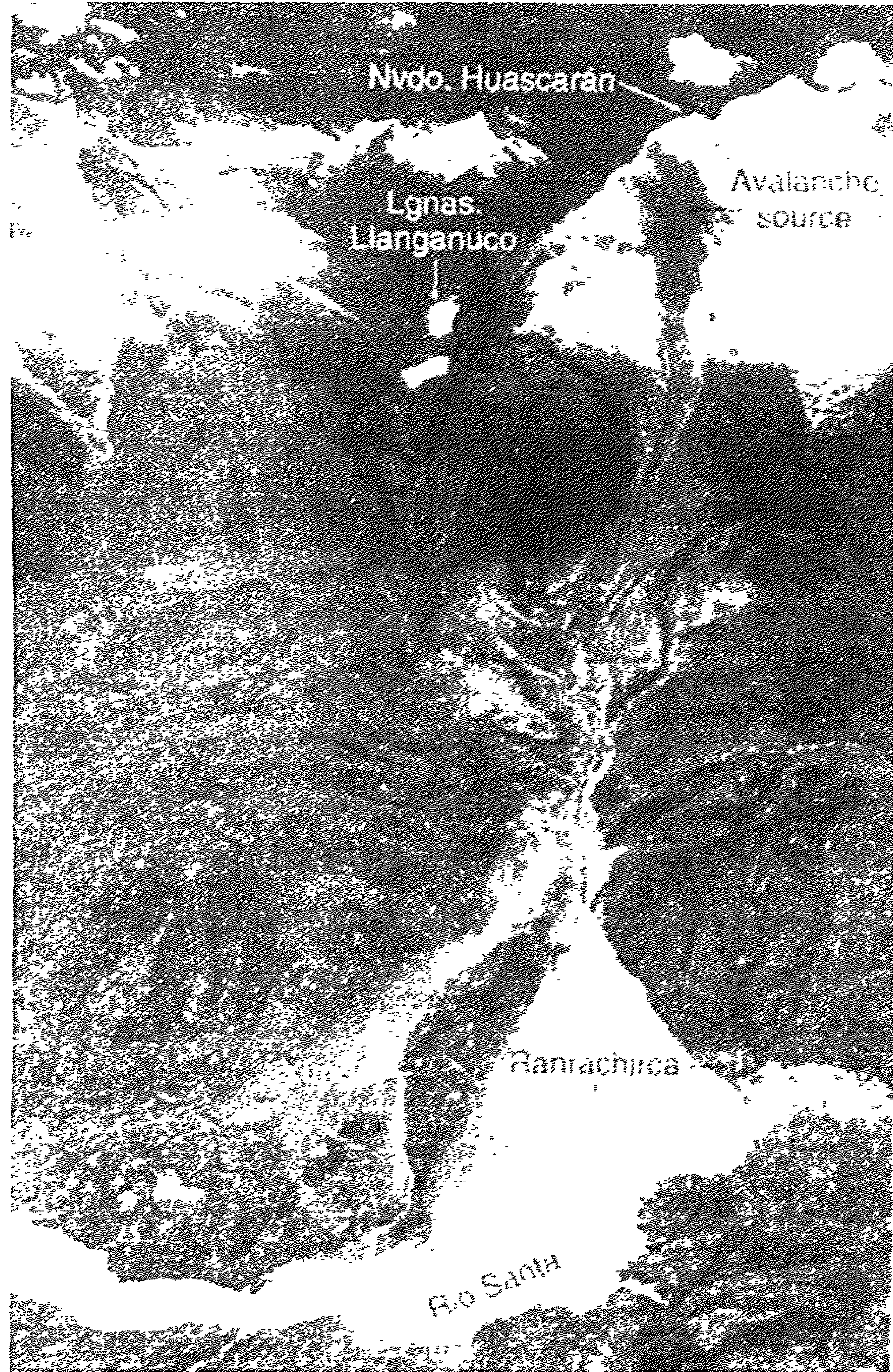
الشكل (٨-٣٠) منظر لتدفق حطام بلاكهوك الذى سقط من جبال سان بيرناردينو منذ ١٧٠٠٠ سنة وتدفق فوق سطح صحراء موجافى.



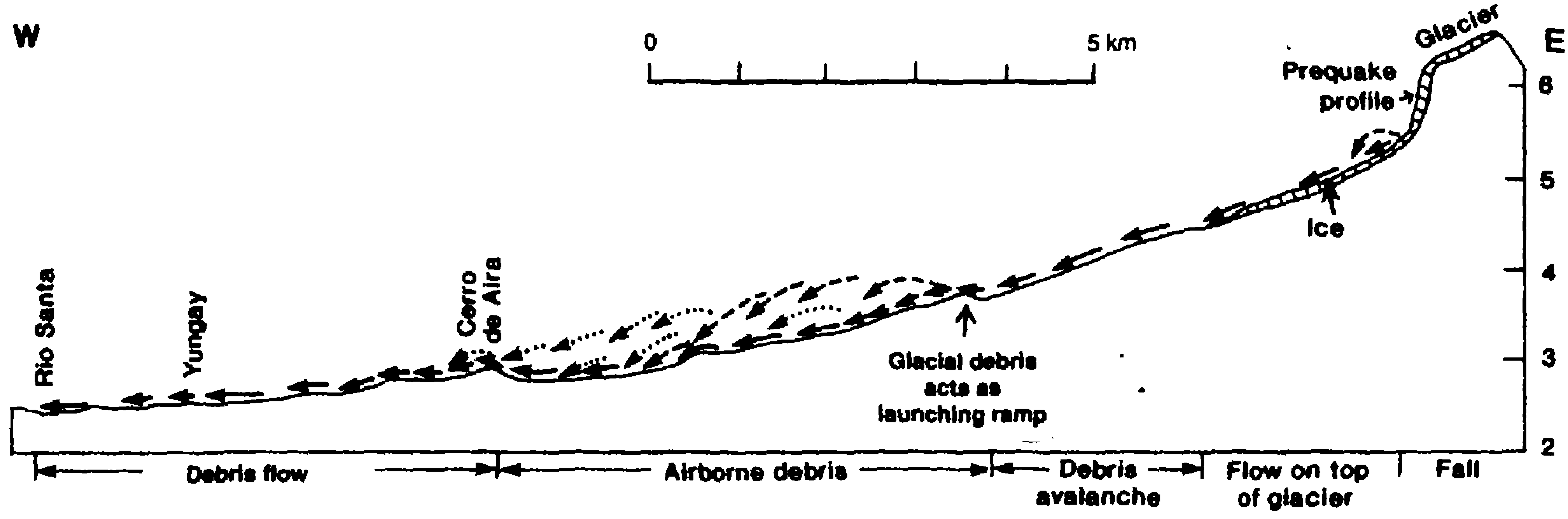
الشكل (٨-٣١) قطاع مقطعي لجلمود حطام إيلم في سويسرا في ١٨٨١. مسرحية ذات ثلاثة فصول: السقوط والقفز والاندفاع.



الشكل (٨-٣٢) سقطت كتلة من الصخر وزنها ٩٠ مليون طن وتحطمت وتدفقت من فوق جبل تيرتيل وعبرت وادى نهر أولدمان، وصعدت على الحائط المقابل للوادى فى ٢٩ أبريل ١٩٠٣. وقتل حوالى ٧٠ شخصا فى مدينة فرانك فى ولاية آلبيرت فى كندا.



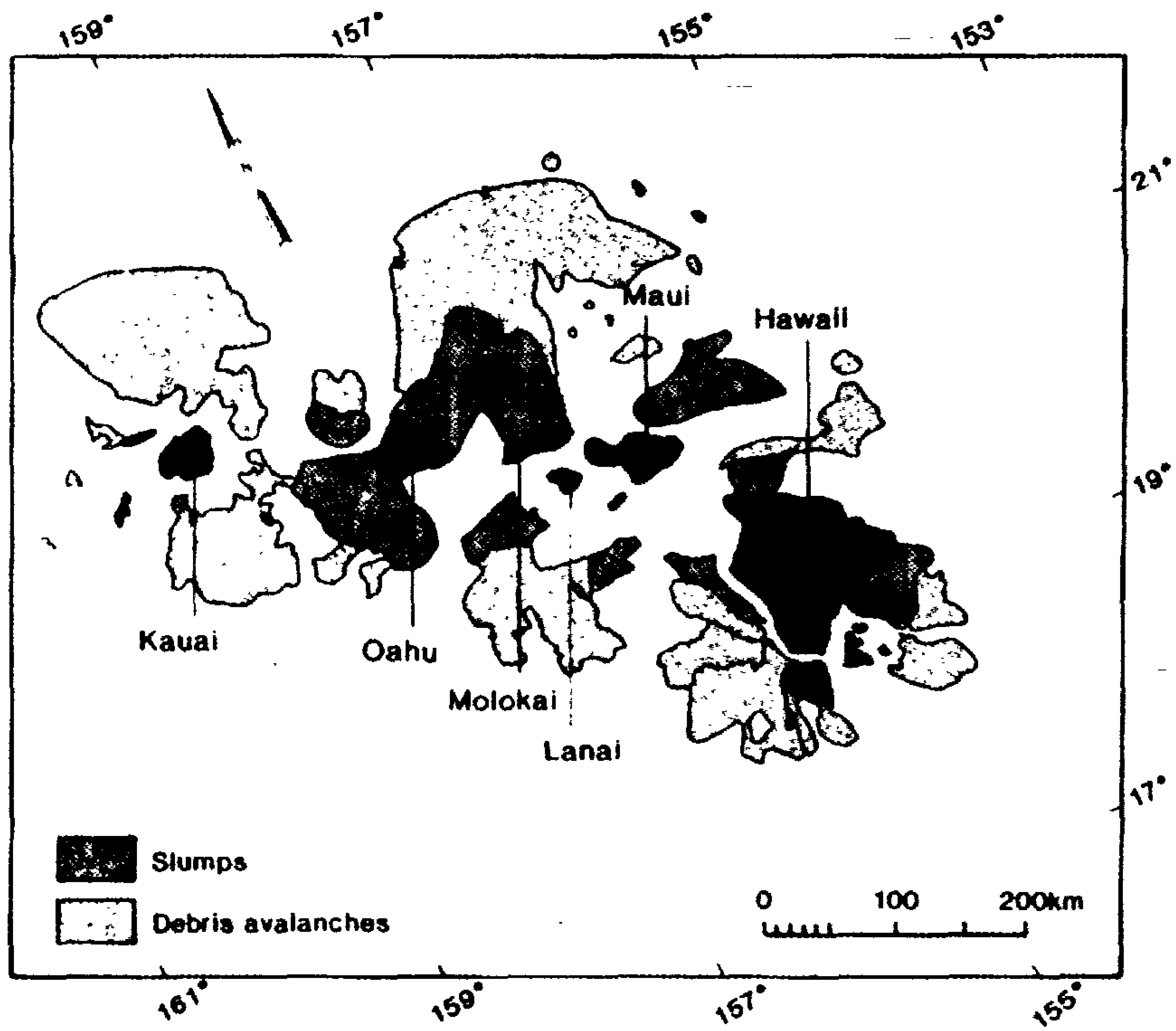
الشكل (٨-٣٣) صورة جوية لنيفادوس هواسكاران وجلمود الحطام فى ١٩٧٠ الذى دفن ١٨٠٠٠ نسمة. حدث السقوط العمودى من القمة إلى ريو سانتا من ارتفاع ٤١٤٤ مترا (١٣٥٩٢ قدما) وسار مسافة أفقية قدرها ١٦ كم (١٠ أميال).



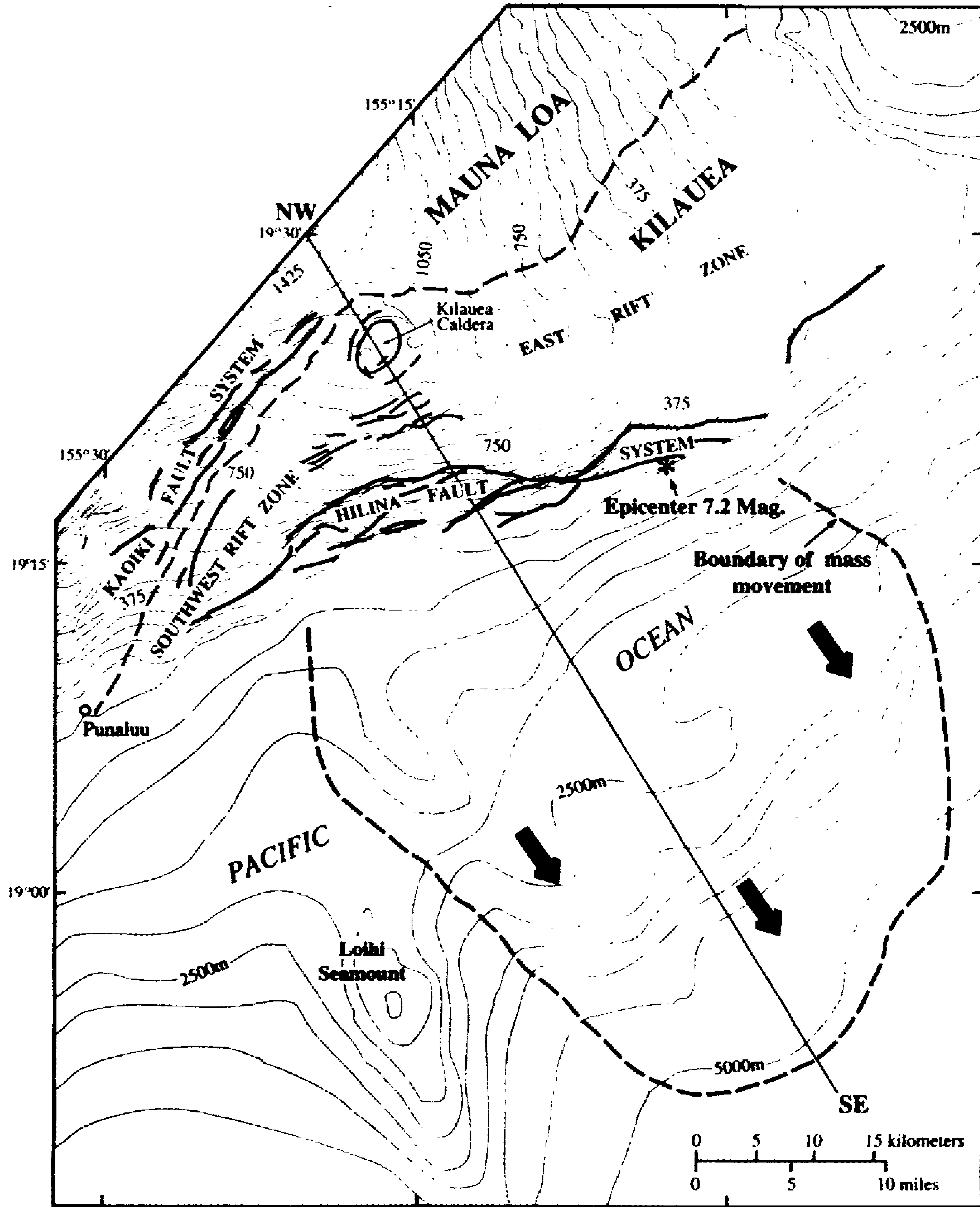
الشكل (٨-٣٤) قطاع مقطعي لجلمود حطام نيفادوس هواسكاران في عام ١٩٧٠. وكانت العناصر الرئيسية هي السقوط العمودي المبدئي، والانطلاق في الهواء فوق تلال حطام المجلدة وانشطار الجلمود إلى فصين وتدفقه على شكل حطام مبلل؛ وجلمود الحطام (الأسهم المستمرة)، والصخور المحمولة جوا (الأسهم المشرطة) والطين المحمول جوا (الأسهم المنقطة).



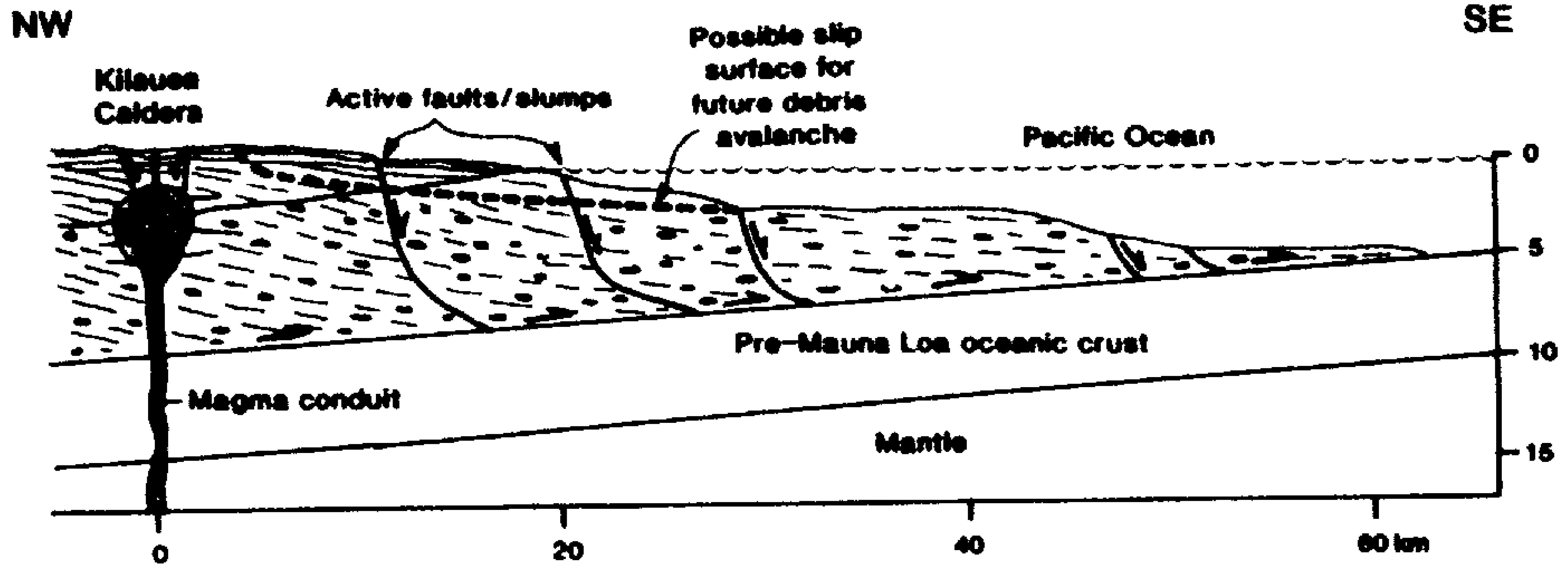
الشكل (٨-٣٥) المتزحلق على الجليد في أسفل التل حَفَزَ جلمودا جليديا.



الشكل (٨-٣٦) جزر هاواى (السوداء) تغطى مساحة أقل من الكتل المنهارة على سطح مقوس وجلاميد الحطام التى سقطت منها.

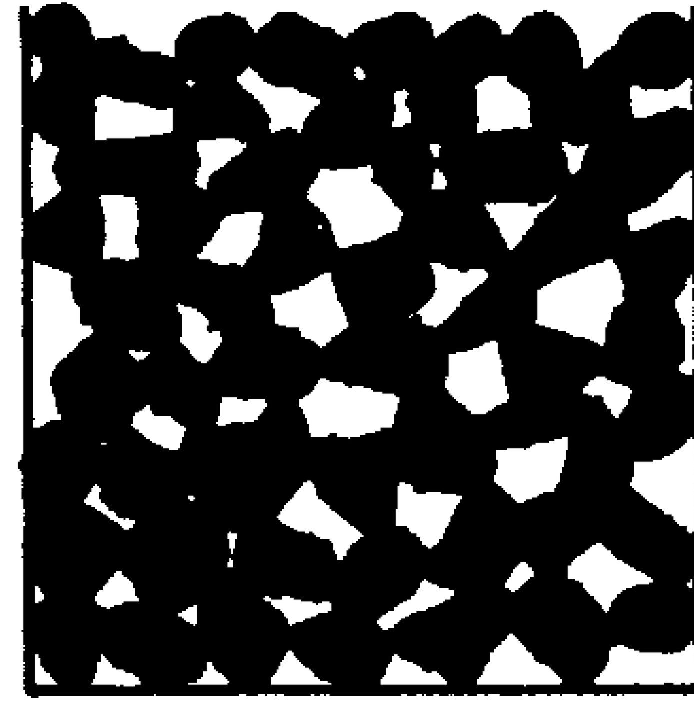


الشكل (٨-٣٧) خريطة منطقة كيلويا فى هاواى توضح مخططا لانزلاق الكتلة فى المحيط الهادى.



الشكل (٨-٣٨) قطاع مقطعي في الجزء الجنوبي الشرقي لكبرى جزر هاواي. وتسقط الكتل الضخمة حاليا فجأة على الصدوع العادية. وربما تكدس جلاميد الحطام في المستقبل عدة أميال من الكتل الضخمة في المحيط الهادي.

(a) Sand grains (dark) and pore spaces (white) filled with air, water, or oil

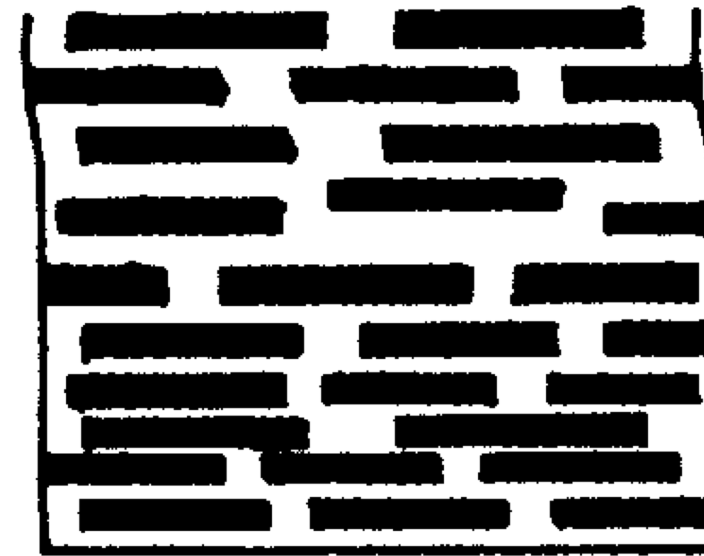


Loosely packed



Compacted

(b) Clay minerals (dark) and pore spaces (white)

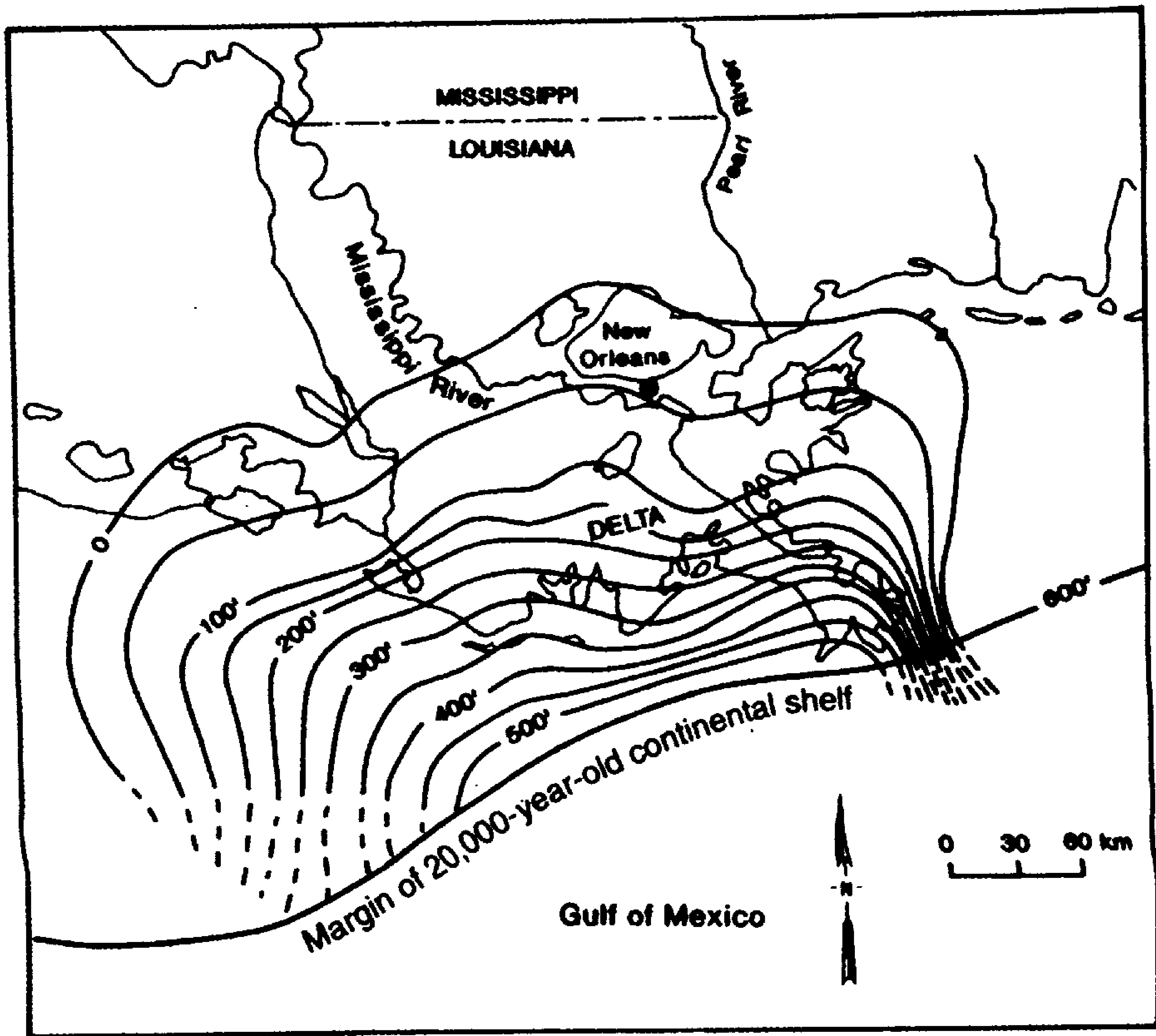


Loosely packed

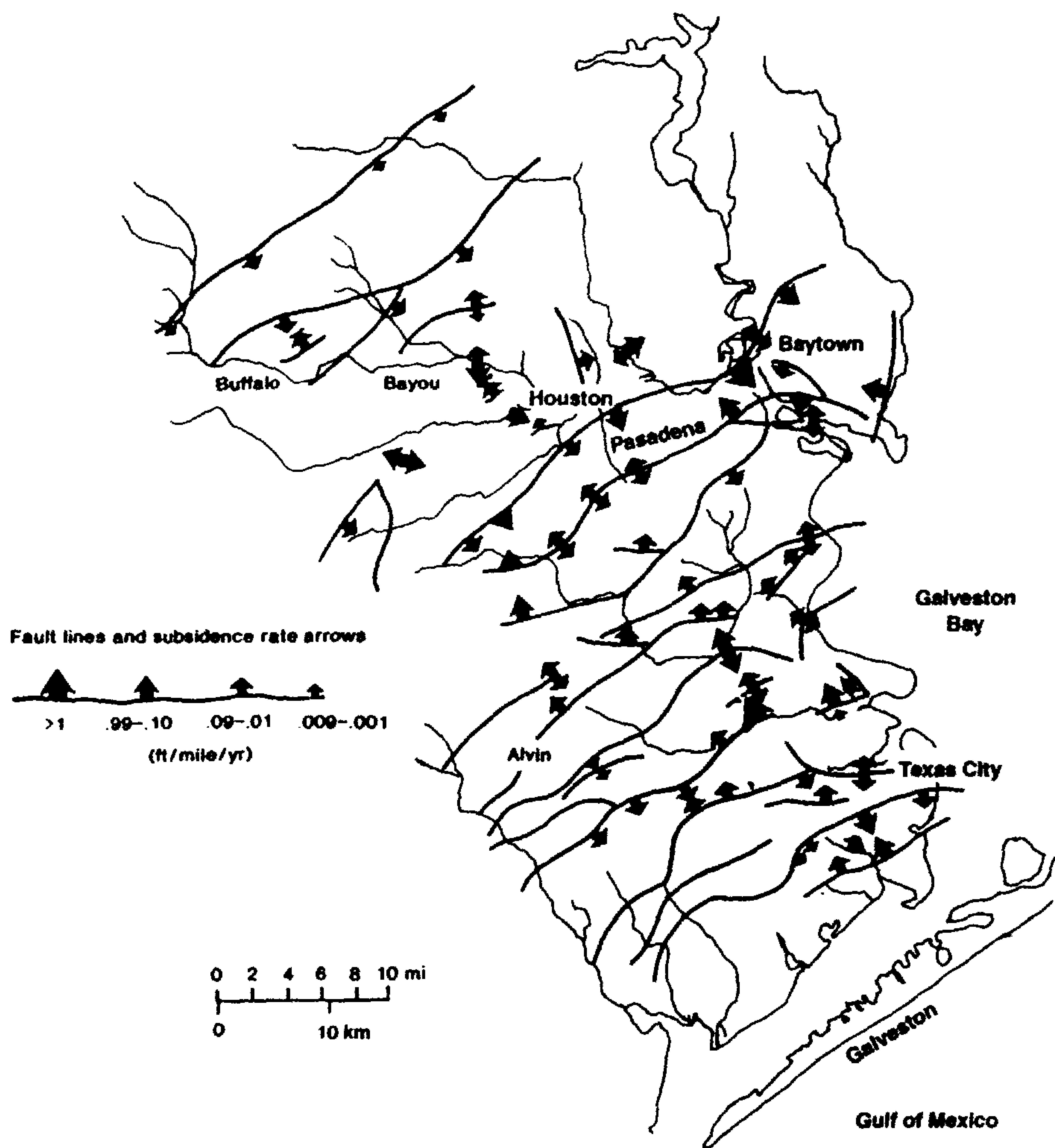


Compacted

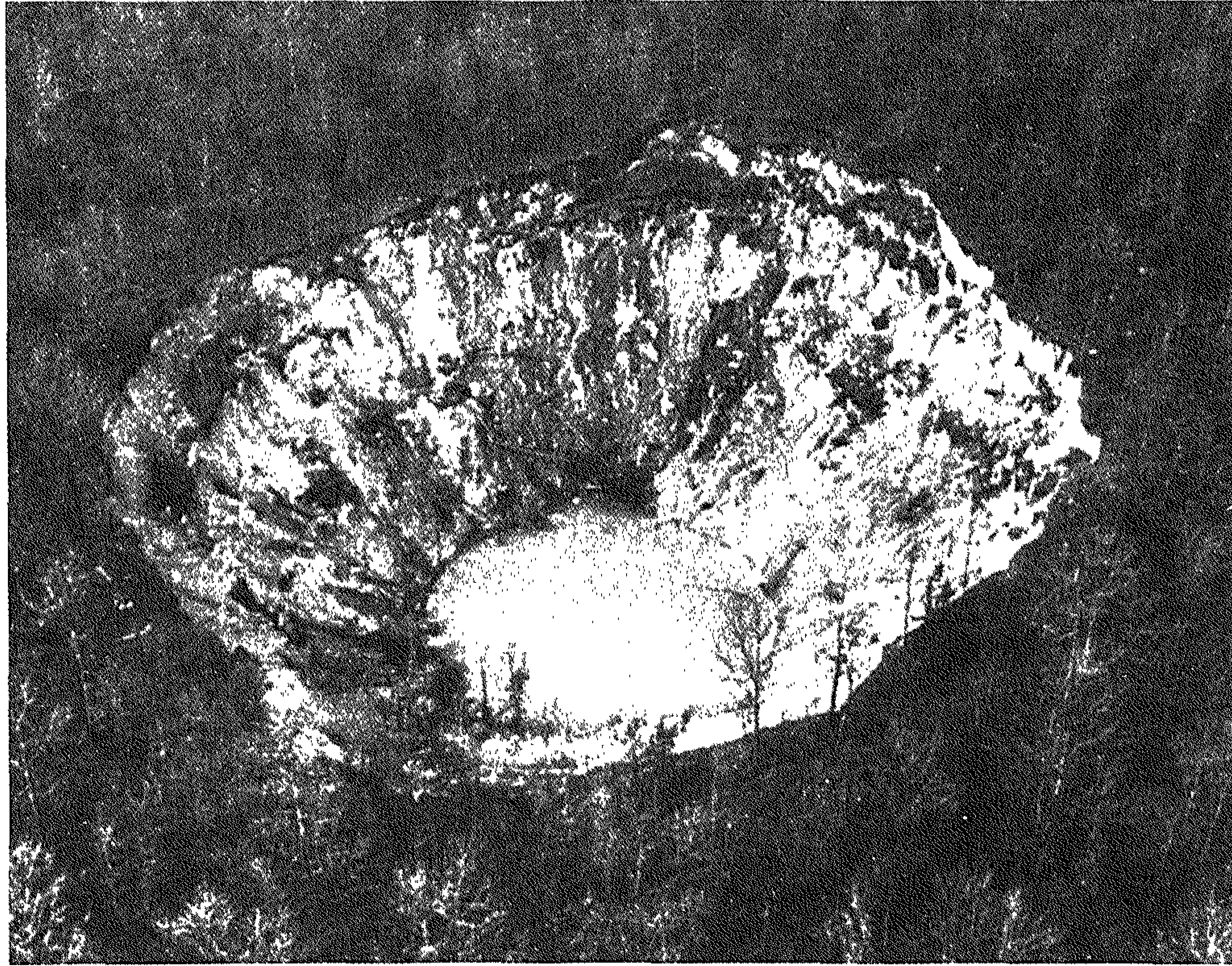
الشكل (٨-٣٩) (أ) الرمل المعبأ حراً له خاصية كبيرة في المسامية (٢٥ حتى ٤٥٪). وعندما تنضغط الحبيبات إلى بعضها البعض وتزال السوائل يهبط سطح الأرض. (ب) ومعادن الصلصال المعبأة حرةً لها خاصية أعلى في المسامية (٣٠ حتى ٨٠٪). وعندما تنضغط شرائح الصلصال إلى بعضها البعض وتزال السوائل يهبط سطح الأرض.



الشكل (٨-٤٠) الخسف (الهبوط) فى منطقة دلتا نهر مسيسيبى فى ٢٠٠٠٠ سنة الماضية. وخطوط الكنتورات مقدرة بالأقدام.



الشكل (٨-٤١) خريطة لبعض الصدوع النشيطة فى هوستون فى تكساس، المنطقة والمقادير النسبية للخسف (الهبوط).



الشكل (٨-٤٢) منظر لبالوعة «ديسمبر العملاقة» التي تكونت بانهيار الكهف الكبير من الحجر الجيرى فى يوم ٢ ديسمبر ١٩٧٢ فى محافظة شيلبى فى آلاباما. وقطر هذه البالوعة ١٣٠ مترا (٤٢٥ قدما) وعمقها ٤٦ مترا (١٥٠ قدما).



الشكل (٨-٤٢) صورة جوية لبالوعة وينتربارك فى فلوريدا فى يوم ١٠ مايو ١٩٨١؛ وقطرها ١٠٠ متر (أكثر من ٣٢٠ قدما) وعمقها ٣٤ مترا (١١٠ قدما). لاحظ حمام سباحة البلدية المنهار يقع فى أسفل يسار الصورة.

جداول الفصل الثامن

الجدول (٨-١) معدلات السرعة فى حركات الكتل

	Extremely Rapid	
10 ft/sec (6 mph)		3 m/sec
	Very Rapid	
1 ft/minute		0.3 m/min
	Rapid	
5 ft/day		1.5 m/day
	Moderate	
5 ft/month		1.5 m/month
	Slow	
5 ft/year		1.5 m/year
	Very Slow	
1 ft /5 years		0.3 m / 5 years
	Extremely Slow	

الجدول (٨-٢) بعض حركات الكتل الفتاكة

Year	Place	Fatalities
1499	Kienholz, Switzerland	400
1515	Blenio Valley, Switzerland	600
1556	Shaanxi Province, China	830,000
1569	Hofgastein and Schwaz, Austria	287
1584	Yvorne, Rhone Valley, France	328
1618	Mont Conto, Switzerland	2,430
1669	Salzburg, Austria	250
1741	Pennsylvania	22
1806	Goldau, Switzerland	457
1814	Boite Valley, Italy	300
1843	Mount Ida, Troy, New York	15
1881	Elm, Switzerland	115
1892	St. Gervais, France	177
1893	Trondheim, Norway	111
1903	Frank, Alberta, Canada	70
1920	Shaanxi Province, China	200,000
1936	Nordfjord, Norway	73
1938	Kobe, Japan	505
1945	Kure, Japan	1,154
1958	Shizuoka, Japan	1,094
1959	Hebgen Lake, Montana	28
1962	Nevados Huascarán, Peru	4,000
1963	Vaiont, Italy	3,000
1964	Anchorage, Alaska (plus an earthquake)	114
1966	Aberfan, Wales	144
1966–7	Rio de Janeiro area, Brazil	2,700
1969	Nelson Co., Virginia (plus floods)	150
1970	Nevados Huascarán, Peru (plus an earthquake)	70,000
1971	St. Jean-Vianney, Quebec	31
1985	Mameyes, Puerto Rico	129
1998	Campania, Italy	180
1998	Honduras and Nicaragua	10,000
1999	Venezuela	10,000

الجدول (٨-٢) بعض المدن الساحلية الهابطة

City	Maximum Subsidence (meters)	Area Affected (km^2)
Bangkok, Thailand	1	800
Houston, Texas	2.7	12,000
London, England	0.3	300
Long Beach, California	9	50
Nagoya, Japan	2.4	1,300
New Orleans, Louisiana	3	175
Niigata, Japan	2.5	8,300
Osaka, Japan	3	500
San Jose, California	3.9	800
Savannah, Georgia	0.2	35
Shanghai, China	2.7	120
Taipei, Taiwan	1.9	130
Tokyo, Japan	4.5	3,000
Venice, Italy	0.3	150

مراجع الفصل الثامن

نصوص ومراجع مقترحة

Suggested Readings and References

Alden, W. C. (1928). Landslide and flood at Gros Ventre, Wyoming. *Transactions, American Institute of Mining and Metallurgical Engineers*, 76, 347–61.

Armstrong, B. R., and Williams, K. (1992). *The Avalanche Book*. Armstrong, Colo.: Fulcrum Publishing.

Close, U., and McCormick, E. (1922, May). Where the mountain walked. *National Geographic*, 41, 445–64.

Hsu, K. J. (1989, January). Catastrophic debris streams (sturzstroms) generated by rockfalls. *Geological Society of America Bulletin*, 86, 129–40.

Kerr, P. F. (1963). Quick clay. *Scientific American*, 209, 132–41.

Kiersch, G. A. (1964, March). Vaiont reservoir disaster. *Civil Engineering*, 32–39.

Matthes, G. H. (1953). Quicksand. *Scientific American*, 188, 97–102.

Melosh, H. J. (1983, March–April). Acoustic fluidization. *American Scientist*, 71, 158–65.

Miller, W. J. (1931). The landslide at Point Fermin, California. *Scientific Monthly*, 32, 464–69.

Moore, J. G., Clague, D. A., Holcomb, R. T., Lipman, P. W., Normark, W. R., and Torresan, M. E. (1989). Prodigious submarine landslides on the Hawaiian ridge. *Journal of Geophysical Research*, B12, 94, 17, 465–84.

Nilsen, T. H., and Brabb, E. E. (1975). Landslides. In R. D. Borcherdt (Ed.), *Studies for seismic zonation of the San Francisco Bay region*. U.S. Geological Survey Professional Paper 941A.

Plafker, G., and Ericksen, G. E. (1978). Nevados Huascarán avalanches, Peru. Chapter 8, In B. Voight (Ed.), *Rockslides and Avalanches*. Amsterdam: Elsevier Scientific.

Schumm, S. A., and Chorley, R. J. (1964, November). The fall of threatening rock. *American Journal of Science*, 262, 1041–54.

Schuster, R. L., and Fleming, R. W. (1986). Economic losses and fatalities due to landslides. *Bulletin of the Association of Engineering Geologists*, 23, 11–28.

Shreve, R. L. (1968). *The Blackhawk landslide*. Geological Society of America Special Paper 108.

Varnes, D. J. (1978). Slope movement types and processes. In R. L. Schuster and R. J. Krizek, (Eds.), *Landslides, Analysis and Control* (Chap. 2). Washington, D.C.: National Academy of Sciences.

Williams, G. P., and Guy, H. P. (1973). *Erosional and depositional aspects of hurricane Camille in Virginia, 1969*. U.S. Geological Survey Professional Paper 804.

الفيديو

Videos

The Runaway Mountain. (1995). Horizons/Pioneer Productions/BBC (50 min.).

The Rissa, Norway Landslide. (1981). Norwegian Geotechnical Institute (24 min.).

Debris-Flow Dynamics. (1984). U.S. Geological Survey (23 min.).

Landslide: Gravity Kills. (1999). Discovery Channel (52 min.).

Raging Planet: Avalanche. (1997). Discovery Channel (50 min.).

المشروع القومى للترجمة

المشروع القومى للترجمة مشروع تنمية ثقافية بالدرجة الأولى ، ينطلق من الإيجابيات التى حققتها مشروعات الترجمة التى سبقته فى مصر والعالم العربى ويسعى إلى الإضافة بما يفتح الأفق على وعود المستقبل، معتمداً المبادئ التالية :

١- الخروج من أسر المركزية الأوروبية وهيمنة اللغتين الإنجليزية والفرنسية .

٢- التوازن بين المعارف الإنسانية فى المجالات العلمية والفنية والفكرية والإبداعية .

٣- الانحياز إلى كل ما يؤسس لأفكار التقدم وحضور العلم وإشاعة العقلانية والتشجيع على التجريب .

٤- ترجمة الأصول المعرفية التى أصبحت أقرب إلى الإطار المرجعى فى الثقافة الإنسانية المعاصرة، جنباً إلى جنب المنجزات الجديدة التى تضع القارئ فى القلب من حركة الإبداع والفكر العالميين .

٥- العمل على إعداد جيل جديد من المترجمين المتخصصين عن طريق ورش العمل بالتنسيق مع لجنة الترجمة بالمجلس الأعلى للثقافة .

٦- الاستعانة بكل الخبرات العربية وتنسيق الجهود مع المؤسسات المعنية بالترجمة .

المشروع القومى للترجمة

١-	اللغة العليا	جون كوين	أحمد درويش
٢-	الوثنية والإسلام (ط١)	ك. مادهو بانيكار	أحمد فؤاد بلبع
٣-	التراث المسروق	جورج جيمس	شوقي جلال
٤-	كيف تتم كتابة السيناريو	انجا كاريتنيكوفا	أحمد الحضرى
٥-	ثريا فى غيبوبة	إسماعيل فصيح	محمد علاء الدين منصور
٦-	اتجاهات البحث اللسانى	ميلكا إفيتش	سعد مصلوح ووفاء كامل فايد
٧-	العلوم الإنسانية والفلسفة	لوسيان غولدمان	يوسف الأنطكى
٨-	مشعلو الحرائق	ماكس فريش	مصطفى ماهر
٩-	التغيرات البيئية	أندرو. س. جودى	محمود محمد عاشور
١٠-	خطاب الحكاية	جيرار جينيت	محمد معتصم وعبد الجليل الأزدى وعمر حلى
١١-	مختارات شعرية	فيسوافا شيمبوريسكا	هناء عبد الفتاح
١٢-	طريق الحرير	ديفيد براونيستون وأيرين فرانك	أحمد محمود
١٣-	ديانة الساميين	روبرتسن سميث	عبد الوهاب علوب
١٤-	التحليل النفسى للأدب	جان بيلمان نويل	حسن المودن
١٥-	الحركات الفنية منذ ١٩٤٥	إدوارد لوسى سميث	أشرف رفيق عفيفى
١٦-	أثينة السوداء (جـ١)	مارتن برنال	بإشراف: أحمد عتمان
١٧-	مختارات شعرية	فيليب لاركين	محمد مصطفى بدوى
١٨-	الشعر النسائى فى أمريكا اللاتينية	مختارات	طلعت شاهين
١٩-	الأعمال الشعرية الكاملة	جورج سفيريس	نعيم عطية
٢٠-	قصة العلم	ج. ج. كراوثر	يمنى طريف الخولى و بدوى عبد الفتاح
٢١-	خوخة وألف خوخة وقصص أخرى	صمد بهرنجى	ماجدة العنانى
٢٢-	مذكرات رحالة عن المصريين	جون أنتيس	سيد أحمد على الناصرى
٢٣-	تجلى الجميل	هانز جيورج جادامر	سعيد توفيق
٢٤-	ظلال المستقبل	باتريك بارندر	بكر عباس
٢٥-	مثنوى	مولانا جلال الدين الرومى	إبراهيم الدسوقى شتا
٢٦-	دين مصر العام	محمد حسين هيكل	أحمد محمد حسين هيكل
٢٧-	التنوع البشرى الخلاق	مجموعة من المؤلفين	بإشراف: جابر عصفور
٢٨-	رسالة فى التسامح	جون لوك	منى أبو سنة
٢٩-	الموت والوجود	جيمس ب. كارس	بدر الديب
٣٠-	الوثنية والإسلام (ط٢)	ك. مادهو بانيكار	أحمد فؤاد بلبع
٣١-	مصادر دراسة التاريخ الإسلامى	جان سوفاجيه - كلود كاين	عبد الستار الحلوجى وعبد الوهاب علوب
٣٢-	الانقراض	ديفيد روب	مصطفى إبراهيم فهمى
٣٣-	التاريخ الاقتصادى لأفريقيا الغربية	أ. ج. هوبكنز	أحمد فؤاد بلبع
٣٤-	الرواية العربية	روجر آلن	حصة إبراهيم المنيف
٣٥-	الأسطورة والحداثة	پول ب . ديكسون	خليل كلفت
٣٦-	نظريات السرد الحديثة	والاس مارتن	حياة جاسم محمد

٣٧-	واحة سيوة وموسيقاها	بريجيت شيفر	جمال عبد الرحيم
٣٨-	نقد الحداثة	ألن تورين	أنور مغيث
٣٩-	الحسد والإغريق	بيتر والكوت	منيرة كروان
٤٠-	قصائد حب	أن سكستون	محمد عيد إبراهيم
٤١-	ما بعد المركزية الأوروبية	بيتر جران	عاطف أحمد وإبراهيم فتحى ومحمود ماجد
٤٢-	عالم ماك	بنجامين باربر	أحمد محمود
٤٣-	اللهب المزدوج	أوكتافيو باث	المهدى أخريف
٤٤-	بعد عدة أصياف	ألدوس هكسلى	مارلين تادرس
٤٥-	التراث المغدور	روبرت دينا وجون فاين	أحمد محمود
٤٦-	عشرون قصيدة حب	بابلو نيرودا	محمود السيد على
٤٧-	تاريخ النقد الأدبى الحديث (جـ١)	رينيه ويليك	مجاهد عبد المنعم مجاهد
٤٨-	حضارة مصر الفرعونية	فرانسوا دوما	ماهر جويجاتى
٤٩-	الإسلام فى البلقان	هـ . ت . نوريس	عبد الوهاب علوب
٥٠-	ألف ليلة وليلة أو القول الأسير	جمال الدين بن الشيخ	محمد برادة وعثمانى الميلود ويوسف الأنطكى
٥١-	مسار الرواية الإسبانو أمريكية	داريو بيانويبا وخ. م. بينياليستى	محمد أبو العطا
٥٢-	العلاج النفسى التدعيمى	ب. نوفاليس وس . روجسيفيتز وروجر بيل	لطفى فطيم وعادل دمرداش
٥٣-	الدراما والتعليم	أ . ف . ألنجتون	مرسى سعد الدين
٥٤-	المفهوم الإغريقى للمسرح	ج . مايكل والتون	محسن مصيلحى
٥٥-	ما وراء العلم	چون بولكنجهوم	على يوسف على
٥٦-	الأعمال الشعرية الكاملة (جـ١)	فديريكو غرسية لوركا	محمود على مكى
٥٧-	الأعمال الشعرية الكاملة (جـ٢)	فديريكو غرسية لوركا	محمود السيد و ماهر البطوطى
٥٨-	مسرحيتان	فديريكو غرسية لوركا	محمد أبو العطا
٥٩-	المحبرة (مسرحية)	كارلوس مونييث	السيد السيد سهيم
٦٠-	التصميم والشكل	جوهانز إيتين	صبرى محمد عبد الغنى
٦١-	موسوعة علم الإنسان	شارلوت سيمور - سميث	بإشراف : محمد الجوهرى
٦٢-	لذّة النّص	رولان بارت	محمد خير البقاعى
٦٣-	تاريخ النقد الأدبى الحديث (جـ٢)	رينيه ويليك	مجاهد عبد المنعم مجاهد
٦٤-	برتراند راسل (سيرة حياة)	ألان وود	رمسيس عوض
٦٥-	فى مدح الكسل ومقالات أخرى	برتراند راسل	رمسيس عوض
٦٦-	خمس مسرحيات أندلسية	أنطونيو جالا	عبد اللطيف عبد الحليم
٦٧-	مختارات شعرية	فرناندو بيسوا	المهدى أخريف
٦٨-	نتاشا العجوز وقصص أخرى	فالنتين راسبوتين	أشرف الصباغ
٦٩-	العالم الإسلامى فى أوائل القرن العشرين	عبد الرشيد إبراهيم	أحمد فؤاد متولى وهويدا محمد فهمى
٧٠-	ثقافة وحضارة أمريكا اللاتينية	أوخينيو تشانج رودريجث	عبد الحميد غلاب وأحمد حشاد
٧١-	السيدة لا تصلح إلا للرمى	داريو فو	حسين محمود
٧٢-	السياسى العجوز	ت . س . إليوت	فؤاد مجلى
٧٣-	نقد استجابة القارئ	چين ب . تومبكنز	حسن ناظم وعلى حاكم
٧٤-	صلاح الدين والمماليك فى مصر	ل . ا . سيمينوڤا	حسن بيومى

٧٥-	فن التراجم والسير الذاتية	أندريه موروا	أحمد درويش
٧٦-	جاك لاكان وإغواء التحليل النفسى	مجموعة من المؤلفين	عبد المقصود عبد الكريم
٧٧-	تاريخ النقد الأدبى الحديث (جـ٢)	رينيه ويليك	مجاهد عبد المنعم مجاهد
٧٨-	العولمة : النظرية الاجتماعية والثقافة الكونية	رونالد روبرتسون	أحمد محمود ونورا أمين
٧٩-	شعرية التأليف	بوريس أوسبنسكى	سعيد الغانمى وناصر حلاوى
٨٠-	بوشكين عند «نافورة الدموع»	ألكسندر بوشكين	مكارم الغمرى
٨١-	الجماعات المتخيلة	بندكت أندرسن	محمد طارق الشرقاوى
٨٢-	مسرح ميجيل	ميجيل دى أونامونو	محمود السيد على
٨٣-	مختارات شعرية	غوتفريد بن	خالد المعالى
٨٤-	موسوعة الأدب والنقد (جـ١)	مجموعة من المؤلفين	عبد الحميد شيحة
٨٥-	منصور الحلاج (مسرحية)	صلاح زكى أقطاى	عبد الرازق بركات
٨٦-	طول الليل (رواية)	جمال مير صادقى	أحمد فتحى يوسف شتا
٨٧-	نون والقلم (رواية)	جلال آل أحمد	ماجدة العنانى
٨٨-	الابتلاء بالتغرب	جلال آل أحمد	إبراهيم الدسوقى شتا
٨٩-	الطريق الثالث	أنتونى جيدنز	أحمد زايد ومحمد محيى الدين
٩٠-	وسم السيف وقصص أخرى	بورخيس وآخرون	محمد إبراهيم مبروك
٩١-	المسرح والتجريب بين النظرية والتطبيق	باربرا لاسوتسكا - بشونباك	محمد هناء عبد الفتاح
٩٢-	أساليب ومضامين المسرح الإسبانوأمريكى المعاصر	كارلوس ميجيل	نادية جمال الدين
٩٣-	محدثات العولمة	مايك فيذرستون وسكوت لاش	عبد الوهاب علوب
٩٤-	مسرحيتا الحب الأول والصحبة	صمويل بيكيت	فوزية العشماوى
٩٥-	مختارات من المسرح الإسبانى	أنطونيو بويرو باييخو	سرى محمد عبد اللطيف
٩٦-	ثلاث زنبقات ووردة وقصص أخرى	نخبة	إدوار الخراط
٩٧-	هوية فرنسا (مج١)	فرنان برودل	بشير السباعى
٩٨-	الهم الإنسانى والابتزاز الصهيونى	مجموعة من المؤلفين	أشرف الصباغ
٩٩-	تاريخ السينما العالمية (١٨٩٥-١٩٨٠)	ديفيد روبنسون	إبراهيم قنديل
١٠٠-	مساءلة العولمة	بول هيرست وجراهام تومبسون	إبراهيم فتحى
١٠١-	النص الروائى: تقنيات ومناهج	بيرنار فاليط	رشيد بنحدو
١٠٢-	السياسة والتسامح	عبد الكبير الخطيبى	عز الدين الكتانى الإدريسى
١٠٣-	قبر ابن عربى يليه آياء (شعر)	عبد الوهاب المؤدب	محمد بنيس
١٠٤-	أوبرا ماهوجنى (مسرحية)	برتولت بريشت	عبد الغفار مكاوى
١٠٥-	مدخل إلى النص الجامع	چيرارچينيت	عبد العزيز شبيل
١٠٦-	الأدب الأندلسى	ماريا خيسوس روبييرامتى	أشرف على دعدور
١٠٧-	صورة الفدائى فى الشعر الأمريكى اللاتينى المعاصر	نخبة من الشعراء	محمد عبد الله الجعيدى
١٠٨-	ثلاث دراسات عن الشعر الأندلسى	مجموعة من المؤلفين	محمود على مكى
١٠٩-	حروب المياه	چون بولوك وعادل درويش	هاشم أحمد محمد
١١٠-	النساء فى العالم النامى	حسنة بيجوم	منى قطان
١١١-	المرأة والجريمة	فرانسس هيدسون	ريهام حسين إبراهيم
١١٢-	الاحتجاج الهادئ	أرلين علوى ماكليود	إكرام يوسف

١١٣-	راية التمرد	سادى پلانت	أحمد حسان
١١٤-	مسرحيتا حصاد كونجي وسكان المستنقع	وول شوينكا	نسيم مجلى
١١٥-	غرفة تخص المرء وحده	فرچينيا وولف	سمية رمضان
١١٦-	امرأة مختلفة (درية شفيق)	سينثيا نلسون	نهاد أحمد سالم
١١٧-	المرأة والجنوسة فى الإسلام	ليلى أحمد	منى إبراهيم وهالة كمال
١١٨-	النهضة النسائية فى مصر	بث بارون	لميس النقاش
١١٩-	النساء والأسرة وقوانين الطلاق فى التاريخ الإسلامى	أميرة الأزهرى سنبل	بإشراف: رءوف عباس
١٢٠-	الحركة النسائية والتطور فى الشرق الأوسط	ليلى أبو لغد	مجموعة من المترجمين
١٢١-	الدليل الصغير فى كتابة المرأة العربية	فاطمة موسى	محمد الجندى وإيزابيل كمال
١٢٢-	نظام العبودية القديم والنموذج المثالى للإنسان	جوزيف فوجت	منيرة كروان
١٢٣-	الإمبراطورية العثمانية وعلاقاتها الدولية	أنينل ألكسندرو فنادولينا	أنور محمد إبراهيم
١٢٤-	الفجر الكاذب. أوهام الرأسمالية العالمية	چون جراى	أحمد فؤاد بلبع
١٢٥-	التحليل الموسيقى	سيدرك ثورپ ديڤى	سمحة الخولى
١٢٦-	فعل القراءة	ڤولڤانج إيسر	عبد الوهاب علوب
١٢٧-	إرهاب (مسرحية)	صفاء فتحى	بشير السباعى
١٢٨-	الأدب المقارن	سوزان باسنيت	أميرة حسن نويرة
١٢٩-	الرواية الإسبانية المعاصرة	ماريا دولورس أسيس جاروته	محمد أبو العطا وآخرون
١٣٠-	الشرق يصعد ثانية	أندريه جوندر فرانك	شوقى جلال
١٣١-	مصر القديمة: التاريخ الاجتماعى	مجموعة من المؤلفين	لويس بقطر
١٣٢-	ثقافة العولمة	مايك فيذرستون	عبد الوهاب علوب
١٣٣-	الخوف من المرايا (رواية)	طارق على	طلعت الشايب
١٣٤-	تشريح حضارة	بارى ج. كيمب	أحمد محمود
١٣٥-	المختار من نقد ت. س. إليوت	ت. س. إليوت	ماهر شفيق فريد
١٣٦-	فلاحو الباشا	كينيث كونو	سحر توفيق
١٣٧-	مذكرات ضابط فى الحملة الفرنسية على مصر	چوزيف مارى مواريه	كاميليا صبحى
١٣٨-	عالم التليفزيون بين الجمال والعنف	أندريه جلوكسمان	وجيه سمعان عبد المسيح
١٣٩-	پارسيڤال (مسرحية)	ريتشارد ڤاچنر	مصطفى ماهر
١٤٠-	حيث تلتقى الأنهار	هربرت ميسن	أمل الجبورى
١٤١-	اثنتا عشرة مسرحية يونانية	مجموعة من المؤلفين	نعيم عطية
١٤٢-	الإسكندرية : تاريخ ودليل	أ. م. فورستر	حسن بيومى
١٤٣-	قضايا التنظير فى البحث الاجتماعى	ديرك لايدر	عدلى السمرى
١٤٤-	صاحبة اللوكاندة (مسرحية)	كارلو جولدونى	سلامة محمد سليمان
١٤٥-	موت أرتيميو كروث (رواية)	كارلوس فوينتس	أحمد حسان
١٤٦-	الورقة الحمراء (رواية)	ميجيل دى ليبس	على عبدالرءوف البمبى
١٤٧-	مسرحيتان	تانكريد دورست	عبدالغفار مكاوى
١٤٨-	القصة القصيرة: النظرية والتقنية	إنريكى أندرسون إمبرت	على إبراهيم منوفى
١٤٩-	النظرية الشعرية عند إليوت وأدونيس	عاطف فضول	أسامة إسبر
١٥٠-	التجربة الإغريقية	روبرت ج. ليتمان	منيرة كروان

١٥١-	هوية فرنسا (مج ٢ ، جـ١)	فرنان برودل	بشير السباعي
١٥٢-	عدالة الهنود وقصص أخرى	مجموعة من المؤلفين	محمد محمد الخطابي
١٥٣-	غرام الفراعنة	فيولين فانويك	فاطمة عبدالله محمود
١٥٤-	مدرسة فرانكفورت	فيل سليتر	خليل كلفت
١٥٥-	الشعر الأمريكي المعاصر	نخبة من الشعراء	أحمد مرسي
١٥٦-	المدارس الجمالية الكبرى	جي آنبال وآلان وأوديت فيرمو	مي التلمساني
١٥٧-	خسرو وشيرين	النظامي الكنجوي	عبدالعزيز بقوش
١٥٨-	هوية فرنسا (مج ٢ ، جـ٢)	فرنان برودل	بشير السباعي
١٥٩-	الأيديولوجية	ديفيد هوكس	إبراهيم فتحي
١٦٠-	آلة الطبيعة	بول إيرليش	حسين بيومي
١٦١-	مسرحيتان من المسرح الإسباني	أليخاندرو كاسونا وأنطونيو جالا	زيدان عبدالحليم زيدان
١٦٢-	تاريخ الكنيسة	يوحنا الأسيوي	صلاح عبدالعزيز محجوب
١٦٣-	موسوعة علم الاجتماع (جـ ١)	جوردون مارشال	بإشراف: محمد الجوهري
١٦٤-	شامبوليون (حياة من نور)	چان لاكوتير	نبيل سعد
١٦٥-	حكايات الثعلب (قصص أطفال)	أ. ن. أفاناسيفا	سهير المصادفة
١٦٦-	العلاقات بين المتدينين والعلمانيين في إسرائيل	يشعياهو ليڤمان	محمد محمود أبوغدير
١٦٧-	في عالم طاغور	رابندرنات طاغور	شكري محمد عياد
١٦٨-	دراسات في الأدب والثقافة	مجموعة من المؤلفين	شكري محمد عياد
١٦٩-	إبداعات أدبية	مجموعة من المؤلفين	شكري محمد عياد
١٧٠-	الطريق (رواية)	ميجيل دليبيس	بسام ياسين رشيد
١٧١-	وضع حد (رواية)	فرانك بيجو	هدى حسين
١٧٢-	حجر الشمس (شعر)	نخبة	محمد محمد الخطابي
١٧٣-	معنى الجمال	ولتر ت. ستيس	إمام عبد الفتاح إمام
١٧٤-	صناعة الثقافة السوداء	إيليس كاشمور	أحمد محمود
١٧٥-	التليفزيون في الحياة اليومية	لورينزو فيلشس	وجيه سمعان عبد المسيح
١٧٦-	نحو مفهوم للاقتصاديات البيئية	توم تيتنبرج	جلال البنا
١٧٧-	أنطون تشيخوف	هنري ترويا	حصة إبراهيم المنيف
١٧٨-	مختارات من الشعر اليوناني الحديث	نخبة من الشعراء	محمد حمدي إبراهيم
١٧٩-	حكايات أيسوب (قصص أطفال)	أيسوب	إمام عبد الفتاح إمام
١٨٠-	قصة جاويد (رواية)	إسماعيل فصيح	سليم عبد الأمير حمدان
١٨١-	النقد الأدبي الأمريكي من الثلاثينيات إلى الثمانينيات	فنسنت ب. ليتش	محمد يحيى
١٨٢-	العنف والنبوءة (شعر)	و.ب. ييتس	ياسين طه حافظ
١٨٣-	چان كوكتو على شاشة السينما	رينيه جيلسون	فتحي العشري
١٨٤-	القاهرة: حالمة لا تنام	هانز إبندورفر	دسوقي سعيد
١٨٥-	أسفار العهد القديم في التاريخ	توماس تومسن	عبد الوهاب علوب
١٨٦-	معجم مصطلحات هيجل	ميخائيل إنوود	إمام عبد الفتاح إمام
١٨٧-	الأرضة (رواية)	بُزرج علوي	محمد علاء الدين منصور
١٨٨-	موت الأدب	ألفين كرنان	بدر الديب

١٨٩- العمى والبصيرة مقالات فى بلاغة النقد المعاصر	بول دى مان	سعيد الغانمى
١٩٠- محاورات كونفوشيوس	كونفوشيوس	محسن سيد فرجانى
١٩١- الكلام رأسمال وقصص أخرى	الحاج أبو بكر إمام وآخرون	مصطفى حجازى السيد
١٩٢- سياحت نامه إبراهيم بك (جـ١)	زين العابدين المراغى	محمود علاوى
١٩٣- عامل المنجم (رواية)	بيتر أبراهامز	محمد عبد الواحد محمد
١٩٤- مختارات من النقد الأنجلو-أمريكى الحديث	مجموعة من النقاد	ماهر شفيق فريد
١٩٥- شتاء ٨٤ (رواية)	إسماعيل فصيح	محمد علاء الدين منصور
١٩٦- المهلة الأخيرة (رواية)	فالنتين راسبوتين	أشرف الصباغ
١٩٧- سيرة الفاروق	شمس العلماء شبلى النعمانى	جلال السعيد الحفناوى
١٩٨- الاتصال الجماهيرى	إدوين إمرى وآخرون	إبراهيم سلامة إبراهيم
١٩٩- تاريخ يهود مصر فى الفترة العثمانية	يعقوب لانداو	جمال أحمد الرفاعى وأحمد عبد اللطيف حماد
٢٠٠- ضحايا التنمية المقاومة والبدائل	جيرمى سيبروك	فخزى لبيب
٢٠١- الجانب الدينى للفلسفة	جوزايا رويس	أحمد الأنصارى
٢٠٢- تاريخ النقد الأدبى الحديث (جـ٤)	رينيه ويليك	مجاهد عبد المنعم مجاهد
٢٠٣- الشعر والشاعرية	ألطاف حسين حالى	جلال السعيد الحفناوى
٢٠٤- تاريخ نقد العهد القديم	زالمان شازار	أحمد هويدى
٢٠٥- الجينات والشعوب واللغات	لويجى لوقا كافاللى- سفورزا	أحمد مستجير
٢٠٦- الهيولية تصنع علماً جديداً	جيمس جلايك	على يوسف على
٢٠٧- ليل أفريقى (رواية)	رامون خوتاسندير	محمد أبو العطا
٢٠٨- شخصية العربى فى المسرح الإسرائيلى	دان أوريان	محمد أحمد صالح
٢٠٩- السرد والمسرح	مجموعة من المؤلفين	أشرف الصباغ
٢١٠- مثنويات حكيم سنائى (شعر)	سنائى الغزنوى	يوسف عبد الفتاح فرج
٢١١- فردينان دوسوسير	جوناثان كلر	محمود حمدى عبد الغنى
٢١٢- قصص الأمير مرزبان على لسان الحيوان	مرزبان بن رستم بن شروين	يوسف عبدالفتاح فرج
٢١٣- مصر منذ قدوم نابليون حتى رحيل عبدالناصر	ريمون فلاور	سيد أحمد على الناصرى
٢١٤- قواعد جديدة للمنهج فى علم الاجتماع	أنتونى جيدنز	محمد محيى الدين
٢١٥- سياحت نامه إبراهيم بك (جـ٢)	زين العابدين المراغى	محمود علاوى
٢١٦- جوانب أخرى من حياتهم	مجموعة من المؤلفين	أشرف الصباغ
٢١٧- مسرحيتان طليعيتان	صمويل بيكيت وهارولد بينتر	نادية البنهاوى
٢١٨- لعبة الحجلة (رواية)	خوليو كورتازار	على إبراهيم منوفى
٢١٩- بقايا اليوم (رواية)	كازو إيشجورو	طلعت الشايب
٢٢٠- الهيولية فى الكون	بارى باركر	على يوسف على
٢٢١- شعرية كفافى	جريجورى جوزدانيس	رفعت سلام
٢٢٢- فرانز كافكا	رونالد جراى	نسيم مجلى
٢٢٣- العلم فى مجتمع حر	باول فيرابند	السيد محمد نفادى
٢٢٤- دمار يوغسلافيا	برانكا ماجاس	منى عبدالظاهر إبراهيم
٢٢٥- حكاية غريق (رواية)	جابرييل جارثيا ماركيث	السيد عبدالظاهر السيد
٢٢٦- أرض المساء وقصائد أخرى	ديفيد هربت لورانس	طاهر محمد على البربرى

٢٢٧- المسرح الإسبانى فى القرن السابع عشر	خوسيه ماريا ديث بوركى	السيد عبدالظاهر عبدالله
٢٢٨- علم الجمالية وعلم اجتماع الفن	جانيت وولف	مارى تيريز عبدالمسيح وخالد حسن
٢٢٩- مأزق البطل الوحيد	نورمان كيجان	أمير إبراهيم العمرى
٢٣٠- عن الذباب والفئران والبشر	فرانسواز جاكوب	مصطفى إبراهيم فهمى
٢٣١- الدرافيل أو الجيل الجديد (مسرحية)	خايمى سالوم بيدال	جمال عبدالرحمن
٢٣٢- ما بعد المعلومات	توم ستونير	مصطفى إبراهيم فهمى
٢٣٣- فكرة الاضمحلال فى التاريخ الغربى	أرثر هيرمان	طلعت الشايب
٢٣٤- الإسلام فى السودان	ج. سبنسر تريمنجهام	فؤاد محمد عكود
٢٣٥- ديوان شمس تبريزى (جـ١)	مولانا جلال الدين الرومى	إبراهيم الدسوقى شتا
٢٣٦- الولاية	ميشيل شودكيفيتش	أحمد الطيب
٢٣٧- مصر أرض الوادى	روبين فيدين	عنايات حسين طلعت
٢٣٨- العولمة والتحرير	تقرير لمنظمة الأنكتاد	ياسر محمد جادالله وعربى مدبولى أحمد
٢٣٩- العربى فى الأدب الإسرائيلى	جيلا رامراز - رايوخ	نادية سليمان حافظ وإيهاب صلاح فايق
٢٤٠- الإسلام والغرب وإمكانية الحوار	كاى حافظ	صلاح محجوب إدريس
٢٤١- فى انتظار البرابرة (رواية)	ج . م. كوتزى	ابتسام عبدالله
٢٤٢- سبعة أنماط من الغموض	وليام إمبسون	صبرى محمد حسن
٢٤٣- تاريخ إسبانيا الإسلامية (مج١)	ليفى بروفنسال	بإشراف: صلاح فضل
٢٤٤- الغليان (رواية)	لاورا إسكيبيل	نادية جمال الدين محمد
٢٤٥- نساء مقاتلات	إليزابيتا آديس وآخرون	توفيق على منصور
٢٤٦- مختارات قصصية	جابرييل جارثيا ماركيث	على إبراهيم منوفى
٢٤٧- الثقافة الجماهيرية والحداثة فى مصر	والتر أرمبرست	محمد طارق الشرقاوى
٢٤٨- حقول عدن الخضراء (مسرحية)	أنطونيو جالا	عبداللطيف عبدالحليم
٢٤٩- لغة التمزق (شعر)	دراجو شتامبوك	رفعت سلام
٢٥٠- علم اجتماع العلوم	دومنيك فينك	ماجدة محسن أباظة
٢٥١- موسوعة علم الاجتماع (جـ٢)	جوردون مارشال	بإشراف: محمد الجوهرى
٢٥٢- رائدات الحركة النسوية المصرية	مارجو بدران	على بدران
٢٥٣- تاريخ مصر الفاطمية	ل. أ. سيمينوفا	حسن بيومى
٢٥٤- أقدم لك: الفلسفة	ديف روبنسون وجودى جروفز	إمام عبد الفتاح إمام
٢٥٥- أقدم لك: أفلاطون	ديف روبنسون وجودى جروفز	إمام عبد الفتاح إمام
٢٥٦- أقدم لك: ديكارت	ديف روبنسون وكريس جارات	إمام عبد الفتاح إمام
٢٥٧- تاريخ الفلسفة الحديثة	وليم كلى رايت	محمود سيد أحمد
٢٥٨- الغجر	سير أنجوس فريزر	عُبادة كُحيلة
٢٥٩- مختارات من الشعر الأرمنى عبر العصور	نخبة	فاروجان كازانجيان
٢٦٠- موسوعة علم الاجتماع (جـ٣)	جوردون مارشال	بإشراف: محمد الجوهرى
٢٦١- رحلة فى فكر زكى نجيب محمود	زكى نجيب محمود	إمام عبد الفتاح إمام
٢٦٢- مدينة المعجزات (رواية)	إدواردو مندوثا	محمد أبو العطا
٢٦٣- الكشف عن حافة الزمن	چون جريين	على يوسف على
٢٦٤- إبداعات شعرية مترجمة	هوراس وشلى	لويس عوض

٢٦٥-	روايات مترجمة	أوسكار وايلد وصمويل جونسون	لويس عوض
٢٦٦-	مدير المدرسة (رواية)	جلال آل أحمد	عادل عبدالمنعم على
٢٦٧-	فن الرواية	ميلان كونديرا	بدر الدين عرودكى
٢٦٨-	ديوان شمس تبريزى (جـ٢)	مولانا جلال الدين الرومى	إبراهيم الدسوقى شتا
٢٦٩-	وسط الجزيرة العربية وشرقها (جـ١)	وليم چيفور بالجريف	صبرى محمد حسن
٢٧٠-	وسط الجزير العربية وشرقها (جـ٢)	وليم چيفور بالجريف	صبرى محمد حسن
٢٧١-	الحضارة الغربية: الفكرة والتاريخ	توماس سى. باترسون	شوقى جلال
٢٧٢-	الأديرة الأثرية فى مصر	سى. سى. والترز	إبراهيم سلامة إبراهيم
٢٧٣-	الأصول الاجتماعية والثقافية لحركة عرابى فى مصر	جوان كول	عنان الشهاوى
٢٧٤-	السيدة باربارا (رواية)	رومولو جايجوس	محمود على مكى
٢٧٥-	ت. س. إليوت شاعراً وناقداً وكاتباً مسرحياً	مجموعة من النقاد	ماهر شفيق فريد
٢٧٦-	فنون السينما	مجموعة من المؤلفين	عبدالقادر التلمسانى
٢٧٧-	الچينات والصراع من أجل الحياة	براين فورد	أحمد فوزى
٢٧٨-	البدايات	إسحاق عظيموف	ظريف عبدالله
٢٧٩-	الحرب الباردة الثقافية	ف.س. سوندرز	طلعت الشايب
٢٨٠-	الأم والنصيب وقصص أخرى	بريم شند وآخرون	سمير عبدالحميد إبراهيم
٢٨١-	الفردوس الأعلى (رواية)	عبد الحليم شرر	جلال الحفناوى
٢٨٢-	طبيعة العلم غير الطبيعية	لويس وولبرت	سمير حنا صادق
٢٨٣-	السهل يحترق وقصص أخرى	خوان رولفو	على عبد الرءوف البمبى
٢٨٤-	هرقل مجنوناً (مسرحية)	يوريبيديس	أحمد عتمان
٢٨٥-	رحلة خواجة حسن نظامى الدهلوى	حسن نظامى الدهلوى	سمير عبد الحميد إبراهيم
٢٨٦-	سياحت نامه إبراهيم بك (جـ٢)	زين العابدين المراغى	محمود علاوى
٢٨٧-	الثقافة والعولمة والنظام العالمى	أنتونى كنج	محمد يحيى وآخرون
٢٨٨-	الفن الروائى	ديفيد لودج	ماهر البطوطى
٢٨٩-	ديوان منوچهرى الدامغانى	أبو نجم أحمد بن قوص	محمد نور الدين عبدالمنعم
٢٩٠-	علم اللغة والترجمة	جورج مونان	أحمد زكريا إبراهيم
٢٩١-	تاريخ المسرح الإسبانى فى القرن العشرين (جـ١)	فرانشسكو رويس رامون	السيد عبد الظاهر
٢٩٢-	تاريخ المسرح الإسبانى فى القرن العشرين (جـ٢)	فرانشسكو رويس رامون	السيد عبد الظاهر
٢٩٣-	مقدمة للأدب العربى	روجر آلن	مجدى توفيق وآخرون
٢٩٤-	فن الشعر	بوالو	رجاء ياقوت
٢٩٥-	سلطان الأسطورة	جوزيف كامبل وبيل مويرز	بدر الديب
٢٩٦-	مكبث (مسرحية)	وليم شكسبير	محمد مصطفى بدوى
٢٩٧-	فن النحو بين اليونانية والسريانية	ديونيسيوس ثراكس ويوسف الأهوازى	ماجدة محمد أنور
٢٩٨-	مأساة العبيد وقصص أخرى	نخبة	مصطفى حجازى السيد
٢٩٩-	ثورة فى التكنولوجيا الحيوية	جين ماركس	هاشم أحمد محمد
٣٠٠-	أسطورة بروميثيوس فى الأدبين الإنجليزى والفرنسى (مج١)	لويس عوض	جمال الجزيرى وبهاء چاهين وإيزابيل كمال
٣٠١-	أسطورة بروميثيوس فى الأدبين الإنجليزى والفرنسى (مج٢)	لويس عوض	جمال الجزيرى و محمد الجندى
٣٠٢-	أقدم لك: فتجنشتين	جون هيتون وجودى جروفز	إمام عبد الفتاح إمام

٣٠٣-	أقدم لك: بوذا	جين هوب وبورن فان لون	إمام عبد الفتاح إمام
٣٠٤-	أقدم لك: ماركس	ريوس	إمام عبد الفتاح إمام
٣٠٥-	الجلد (رواية)	كروزيو مالابارته	صلاح عبد الصبور
٣٠٦-	الحماسة: النقد الكانطي للتاريخ	چان فرانسوا ليوتار	نبيل سعد
٣٠٧-	أقدم لك: الشعور	ديفيد بابينو وهوارد سلينا	محمود مكى
٣٠٨-	أقدم لك: علم الوراثة	ستيف جونز وبورين فان لو	ممدوح عبد المنعم
٣٠٩-	أقدم لك: الذهن والمخ	أنجوس جيلاتى وأوسكار زاريت	جمال الجزيرى
٣١٠-	أقدم لك: يونج	ماجى هايد ومايكل ماكجنس	محيى الدين مزيد
٣١١-	مقال فى المنهج الفلسفى	ر.ج كولنجوود	فاطمة إسماعيل
٣١٢-	روح الشعب الأسود	وليم ديبويس	أسعد حليم
٣١٣-	أمثال فلسطينية (شعر)	خايير بيان	محمد عبدالله الجعيدى
٣١٤-	مارسيل دوشامب: الفن كعدم	جانيس مينيك	هويدا السباعى
٣١٥-	جرامشى فى العالم العربى	ميشيل بروندينو والطاهر لبيب	كاميليا صبحى
٣١٦-	محاكمة سقراط	أى. ف. ستون	نسيم مجلى
٣١٧-	بلا غد	س. شير لايموفا- س. زنيكين	أشرف الصباغ
٣١٨-	الأدب الروسى فى السنوات العشر الأخيرة	مجموعة من المؤلفين	أشرف الصباغ
٣١٩-	صور دريدا	جايترى اسبيفاك وكرستوفر نوريس	حسام نايل
٣٢٠-	لمعة السراج لحضرة التاج	مؤلف مجهول	محمد علاء الدين منصور
٣٢١-	تاريخ إسبانيا الإسلامية (مج٢، جـ١)	ليفى برو فنسال	بإشراف: صلاح فضل
٣٢٢-	وجهات نظر حديثة فى تاريخ الفن الغربى	دبليو يوجين كليانباور	خالد مفلح حمزة
٣٢٣-	فن الساتورا	تراث يونانى قديم	هانم محمد فوزى
٣٢٤-	اللعب بالنار (رواية)	أشرف أسدى	محمود علاوى
٣٢٥-	عالم الآثار (رواية)	فيليب بوسان	كرستين يوسف
٣٢٦-	المعرفة والمصلحة	يورجين هابرماس	حسن صقر
٣٢٧-	مختارات شعرية مترجمة (جـ١)	نخبة	توفيق على منصور
٣٢٨-	يوسف وزليخا (شعر)	نور الدين عبد الرحمن الجامى	عبد العزيز بقوش
٣٢٩-	رسائل عيد الميلاد (شعر)	تد هيوز	محمد عيد إبراهيم
٣٣٠-	كل شىء عن التمثيل الصامت	مارفن شبرد	سامى صلاح
٣٣١-	عندما جاء السردين وقصص أخرى	ستيفن جراى	سامية دياب
٣٣٢-	شهر العسل وقصص أخرى	نخبة	على إبراهيم منوفى
٣٣٣-	الإسلام فى بريطانيا من ١٥٥٨-١٦٨٥	نبيل مطر	بكر عباس
٣٣٤-	لقطات من المستقبل	آرثر كلارك	مصطفى إبراهيم فهمى
٣٣٥-	عصر الشك: دراسات عن الرواية	ناتالى ساروت	فتحى العشرى
٣٣٦-	متون الأهرام	نصوص مصرية قديمة	حسن صابر
٣٣٧-	فلسفة الولاء	جوزايا رويس	أحمد الأنصارى
٣٣٨-	نظرات حائرة وقصص أخرى	نخبة	جلال الحفناوى
٣٣٩-	تاريخ الأدب فى إيران (جـ٣)	إدوارد براون	محمد علاء الدين منصور
٣٤٠-	اضطراب فى الشرق الأوسط	بيرش بيربروجلو	فخرى لبيب

٢٤١- قصائد من رلكه (شعر)	راينر ماريا رلكه	حسن حلمى
٢٤٢- سلامان وأبسال (شعر)	نور الدين عبدالرحمن الجامى	عبد العزيز بقوش
٢٤٣- العالم البرجوازى الزائل (رواية)	نادين جورديمر	سمير عبد ربه
٢٤٤- الموت فى الشمس (رواية)	بيتر بالانجيو	سمير عبد ربه
٢٤٥- الركض خلف الزمان (شعر)	بونه ندائى	يوسف عبد الفتاح فرج
٢٤٦- سحر مصر	رشاد رشدى	جمال الجزيرى
٢٤٧- الصبية الطائشون (رواية)	جان كوكتو	بكر الحلو
٢٤٨- المتصوفة الأولون فى الأدب التركى (جـ١)	محمد فؤاد كوبريلى	عبدالله أحمد إبراهيم
٢٤٩- دليل القارئ إلى الثقافة الجادة	آرثر والدهورن وآخرون	أحمد عمر شاهين
٢٥٠- بانوراما الحياة السياحية	مجموعة من المؤلفين	عطية شحاتة
٢٥١- مبادئ المنطق	جوزايا رويس	أحمد الانصارى
٢٥٢- قصائد من كفافيس	قسطنطين كفافيس	نعيم عطية
٢٥٣- الفن الإسلامى فى الأندلس: الزخرفة الهندسية	باسيليو بابون مالدونادو	على إبراهيم منوفى
٢٥٤- الفن الإسلامى فى الأندلس: الزخرفة النباتية	باسيليو بابون مالدونادو	على إبراهيم منوفى
٢٥٥- التيارات السياسية فى إيران المعاصرة	حجت مرتجى	محمود علاوى
٢٥٦- الميراث المر	بول سالم	بدر الرفاعى
٢٥٧- متون هرمس	تيموثى فريك وبيتر غاندى	عمر الفاروق عمر
٢٥٨- أمثال الهوسا العامية	نخبة	مصطفى حجازى السيد
٢٥٩- محاورة بارمنيدس	أفلاطون	حبيب الشارونى
٢٦٠- أنثروبولوجيا اللغة	أندريه جاكوب ونويلا باركان	ليلى الشربينى
٢٦١- التصحر: التهديد والمجابهة	آلان جرينجر	عاطف معتمد وآمال شاور
٢٦٢- تلميذ بابنبرج (رواية)	هاينرش شبورل	سيد أحمد فتح الله
٢٦٣- حركات التحرير الأفريقية	ريتشارد جيبسون	صبرى محمد حسن
٢٦٤- حداثة شكسبير	إسماعيل سراج الدين	نجلاء أبو عجاج
٢٦٥- سأم باريس (شعر)	شارل بودلير	محمد أحمد حمد
٢٦٦- نساء يركضن مع الذئاب	كلاريسا بنكولا	مصطفى محمود محمد
٢٦٧- القلم الجرىء	مجموعة من المؤلفين	البرّاق عبدالهادى رضا
٢٦٨- المصطلح السردى: معجم مصطلحات	جيرالد برنس	عابد خزندار
٢٦٩- المرأة فى أدب نجيب محفوظ	فوزية العشماوى	فوزية العشماوى
٢٧٠- الفن والحياة فى مصر الفرعونية	كليرلا لويت	فاطمة عبدالله محمود
٢٧١- المتصوفة الأولون فى الأدب التركى (جـ٢)	محمد فؤاد كوبريلى	عبدالله أحمد إبراهيم
٢٧٢- عاش الشباب (رواية)	وانغ مينغ	وحيد السعيد عبدالحميد
٢٧٣- كيف تعد رسالة دكتوراه	أومبرتو إيكو	على إبراهيم منوفى
٢٧٤- اليوم السادس (رواية)	أندريه شديد	حمادة إبراهيم
٢٧٥- الخلود (رواية)	ميلان كونديرا	خالد أبو اليزيد
٢٧٦- الغضب وأحلام السنين (مسرحيات)	جان أنوى وآخرون	إدوار الخراط
٢٧٧- تاريخ الأدب فى إيران (جـ٤)	إدوارد براون	محمد علاء الدين منصور
٢٧٨- المسافر (شعر)	محمد إقبال	يوسف عبدالفتاح فرج

٣٧٩-	ملك فى الحديقة (رواية)	سنيل باث	جمال عبدالرحمن
٣٨٠-	حديث عن الخسارة	جونتر جراس	شيرين عبدالسلام
٣٨١-	أساسيات اللغة	ر. ل. تراسك	رانيا إبراهيم يوسف
٣٨٢-	تاريخ طبرستان	بهاء الدين محمد إسفنديار	أحمد محمد نادى
٣٨٣-	هدية الحجاز (شعر)	محمد إقبال	سمير عبدالحميد إبراهيم
٣٨٤-	القصص التي يحكيها الأطفال	سوزان إنجيل	إيزابيل كمال
٣٨٥-	مشترى العشق (رواية)	محمد على بهزادراد	يوسف عبدالفتاح فرج
٣٨٦-	دفاعًا عن التاريخ الأدبى النسوى	جانيت تود	ريهام حسين إبراهيم
٣٨٧-	أغنيات وسوناتات (شعر)	چون دن	بهاء چاهين
٣٨٨-	مواعظ سعدى الشيرازى (شعر)	سعدى الشيرازى	محمد علاء الدين منصور
٣٨٩-	تفاهم وقصص أخرى	نخبة	سمير عبدالحميد إبراهيم
٣٩٠-	الأرشيفات والمدن الكبرى	إم. فى. روبرتس	عثمان مصطفى عثمان
٣٩١-	الحافلة الليلكية (رواية)	مايف بينشى	منى الدروبى
٣٩٢-	مقامات ورسائل أندلسية	فرناندو دى لاجرانجا	عبداللطيف عبدالحليم
٣٩٣-	فى قلب الشرق	ندوة لويس ماسينيون	زينب محمود الخضيرى
٣٩٤-	القوى الأربع الأساسية فى الكون	بول ديفيز	هاشم أحمد محمد
٣٩٥-	ألام سياوش (رواية)	إسماعيل فصيح	سليم عبد الأمير حمدان
٣٩٦-	السافاك	تقى نجارى راد	محمود علاوى
٣٩٧-	أقدم لك: نيتشه	لورانس جين وكيتى شين	إمام عبدالفتاح إمام
٣٩٨-	أقدم لك: سارتر	فيليب تودى وهوارد ريد	إمام عبدالفتاح إمام
٣٩٩-	أقدم لك: كامى	ديفيد ميروفتش وآلن كوركس	إمام عبدالفتاح إمام
٤٠٠-	مومو (رواية)	ميشائيل إنده	باهر الجوهرى
٤٠١-	أقدم لك: علم الرياضيات	زياودن ساردر وآخرون	ممدوح عبد المنعم
٤٠٢-	أقدم لك: ستيفن هوكنج	ج. ب. ماك إيفوى وأوسكار زاريت	ممدوح عبدالمنعم
٤٠٣-	ربة المطر والملابس تصنع الناس (روايتان)	تودور شتورم وجوتفرد كولر	عماد حسن بكر
٤٠٤-	تعويذة الحسى	ديفيد إبرام	ظبية خميس
٤٠٥-	إيزابيل (رواية)	أندريه جيد	حمادة إبراهيم
٤٠٦-	المستعربون الإسبان فى القرن ١٩	مانويلا مانتاناريس	جمال عبد الرحمن
٤٠٧-	الأدب الإسبانى المعاصر بأقلام كتابه	مجموعة من المؤلفين	طلعت شاهين
٤٠٨-	معجم تاريخ مصر	جوان فوتشركنج	عنان الشهاوى
٤٠٩-	انتصار السعادة	برتراند راسل	إلهامى عمارة
٤١٠-	خلاصة القرن	كارل بوبر	الزواوى بغورة
٤١١-	همس من الماضى	جينيفر أكرمان	أحمد مستجير
٤١٢-	تاريخ إسبانيا الإسلامية (مج٢، جـ٢)	ليفى بروفنسال	بإشراف: صلاح فضل
٤١٣-	أغنيات المنفى (شعر)	ناظم حكمت	محمد البخارى
٤١٤-	الجمهورية العالمية للآداب	باسكال كازانوفا	أمل الصبان
٤١٥-	صورة كوكب (مسرحية)	فريدريش دورينمات	أحمد كامل عبدالرحيم
٤١٦-	مبادئ النقد الأدبى والعلم والشعر	أ. أ. رتشاردز	محمد مصطفى بدوى

٤١٧-	تاريخ النقد الأدبى الحديث (جـ٥)	رينيه ويليك	مجاهد عبدالمنعم مجاهد
٤١٨-	سياسات الزمر الحاكمة فى مصر العثمانية	جين هاثواى	عبد الرحمن الشيخ
٤١٩-	العصر الذهبى للإسكندرية	جون مارلو	نسيم مجلى
٤٢٠-	مكرو ميجاس (قصة فلسفية)	فولتير	الطيب بن رجب
٤٢١-	الولاء والقيادة فى المجتمع الإسلامى الأول	روى متحدة	أشرف كيلانى
٤٢٢-	رحلة لاستكشاف أفريقيا (جـ١)	ثلاثة من الرحالة	عبدالله عبدالرازق إبراهيم
٤٢٣-	إسراءات الرجل الطيف	نخبة	وحيد النقاش
٤٢٤-	لوائح الحق ولوامع العشق (شعر)	نور الدين عبدالرحمن الجامى	محمد علاء الدين منصور
٤٢٥-	من طاووس إلى فرح	محمود طلوعى	محمود علاوى
٤٢٦-	الخفافيش وقصص أخرى	نخبة	محمد علاء الدين منصور وعبد الحفيظ يعقوب
٤٢٧-	بانديراس الطاغية (رواية)	باى إنكلان	ثريا شلبى
٤٢٨-	الخزانة الخفية	محمد هوتك بن داود خان	محمد أمان صافى
٤٢٩-	أقدم لك: هيجل	ليود سبنسر وأندزجى كروز	إمام عبدالفتاح إمام
٤٣٠-	أقدم لك: كانط	كرستوفر وانت وأندزجى كليموفسكى	إمام عبدالفتاح إمام
٤٣١-	أقدم لك: فوكو	كريس هوروكس وزوران جفتيك	إمام عبدالفتاح إمام
٤٣٢-	أقدم لك: ماكياڤللى	باتريك كيرى وأوسكار زاريت	إمام عبدالفتاح إمام
٤٣٣-	أقدم لك: جويس	ديفيد نوريس وكارل فلنت	حمدى الجابرى
٤٣٤-	أقدم لك: الرومانسية	دونكان هيث وجودى بورهام	عصام حجازى
٤٣٥-	توجهات ما بعد الحداثة	نيكولاس زربرج	ناجى رشوان
٤٣٦-	تاريخ الفلسفة (مج١)	فردريك كوبلستون	إمام عبدالفتاح إمام
٤٣٧-	رحالة هندى فى بلاد الشرق العربى	شبلى النعمانى	جلال الحفناوى
٤٣٨-	بطلات وضحايا	إيمان ضياء الدين بيبرس	عايدة سيف الدولة
٤٣٩-	موت المرابى (رواية)	صدر الدين عينى	محمد علاء الدين منصور وعبد الحفيظ يعقوب
٤٤٠-	قواعد اللهجات العربية الحديثة	كرستن بروستاد	محمد طارق الشرقاوى
٤٤١-	رب الأشياء الصغيرة (رواية)	أرونداتى روى	فخرى لبيب
٤٤٢-	حتشبسوت: المرأة الفرعونية	فوزية أسعد	ماهر جويجاتى
٤٤٣-	اللغة العربية: تاريخها ومستوياتها وتأثيرها	كيس فرستيغ	محمد طارق الشرقاوى
٤٤٤-	أمريكا اللاتينية: الثقافات القديمة	لاوريت سيجورنه	صالح علمانى
٤٤٥-	حول وزن الشعر	پرويز ناتل خانلرى	محمد محمد يونس
٤٤٦-	التحالف الأسود	ألكسندر كوكبرن وجيفرى سانت كلير	أحمد محمود
٤٤٧-	أقدم لك: نظرية الكم	ج. پ. ماك إيڤوى وأوسكار زاريت	ممدوح عبدالمنعم
٤٤٨-	أقدم لك: علم نفس التطور	ديلان إيڤانز وأوسكار زاريت	ممدوح عبدالمنعم
٤٤٩-	أقدم لك: الحركة النسوية	نخبة	جمال الجزيرى
٤٥٠-	أقدم لك: ما بعد الحركة النسوية	صوفيا فوكا وريبيكا رايت	جمال الجزيرى
٤٥١-	أقدم لك: الفلسفة الشرقية	ريتشارد أوزبورن وبورن ڤان لون	إمام عبد الفتاح إمام
٤٥٢-	أقدم لك: لينين والثورة الروسية	ريتشارد إبجينانزى وأوسكار زاريت	محيى الدين مزيد
٤٥٣-	القاهرة: إقامة مدينة حديثة	جان لوك أرنو	حليم طوسون وفؤاد الدهان
٤٥٤-	خمسون عاماً من السينما الفرنسية	رينيه بريدال	سوزان خليل

٤٥٥-	تاريخ الفلسفة الحديثة (مج٥)	فردريك كوبلستون	محمود سيد أحمد
٤٥٦-	لا تنسنى (رواية)	مريم جعفرى	هويدا عزت محمد
٤٥٧-	النساء فى الفكر السياسى الغربى	سوزان موللر أوكين	إمام عبدالفتاح إمام
٤٥٨-	الموريسكيون الأندلسيون	مرثيديس غارثيا أرينال	جمال عبد الرحمن
٤٥٩-	نحو مفهوم لاقتصاديات الموارد الطبيعية	توم تيتنبرج	جلال البنا
٤٦٠-	أقدم لك: الفاشية والنازية	ستوارت هود وليتزا جانستز	إمام عبدالفتاح إمام
٤٦١-	أقدم لك: لكان	داريان ليدر وجودى جروفز	إمام عبدالفتاح إمام
٤٦٢-	طه حسين من الأزهر إلى السوربون	عبدالرشيد الصادق محمودى	عبدالرشيد الصادق محمودى
٤٦٣-	الدولة المارقة	ويليام بلوم	كمال السيد
٤٦٤-	ديمقراطية للقلة	مايكل بارنتى	حصة إبراهيم المنيف
٤٦٥-	قصص اليهود	لويس جنزبيرج	جمال الرفاعى
٤٦٦-	حكايات حب وبطولات فرعونية	فيولين فانويك	فاطمة عبد الله
٤٦٧-	التفكير السياسى والنظرة السياسية	ستيفين ديلو	ربيع وهبة
٤٦٨-	روح الفلسفة الحديثة	جوزايا رويس	أحمد الأنصارى
٤٦٩-	جلال الملوك	نصوص حبشية قديمة	مجدى عبدالرازق
٤٧٠-	الأراضى والجودة البيئية	جارى م. بيرزنسكى وآخرون	محمد السيد النتة
٤٧١-	رحلة لاستكشاف أفريقيا (جـ٢)	ثلاثة من الرحالة	عبد الله عبد الرازق إبراهيم
٤٧٢-	دون كيخوتى (القسم الأول)	ميجيل دى ثربانتس سابيدرا	سليمان العطار
٤٧٣-	دون كيخوتى (القسم الثانى)	ميجيل دى ثربانتس سابيدرا	سليمان العطار
٤٧٤-	الأدب والنسوية	بام موريس	سهام عبدالسلام
٤٧٥-	صوت مصر: أم كلثوم	فرجينيا دانيلسون	عادل هلال عنانى
٤٧٦-	أرض الحبايب بعيدة: بيرم التونسى	ماريلين بوث	سحر توفيق
٤٧٧-	تاريخ الصين منذ ما قبل التاريخ حتى القرن العشرين	هيلدا هوخام	أشرف كيلانى
٤٧٨-	الصين والولايات المتحدة	ليوشيه شنج و لى شى دونج	عبد العزيز حمدى
٤٧٩-	المقهـــى (مسرحية)	لاو شه	عبد العزيز حمدى
٤٨٠-	تساى ون جى (مسرحية)	كو مو روا	عبد العزيز حمدى
٤٨١-	بردة النبى	روى متحدة	رضوان السيد
٤٨٢-	موسوعة الأساطير والرموز الفرعونية	روبير جاك تيبو	فاطمة عبد الله
٤٨٣-	النسوية وما بعد النسوية	سارة چامبل	أحمد الشامى
٤٨٤-	جمالية التلقى	هانسن روبيرت ياوس	رشيد بنحدو
٤٨٥-	التوبة (رواية)	نذير أحمد الدهلوى	سمير عبدالحميد إبراهيم
٤٨٦-	الذاكرة الحضارية	يان أسمن	عبدالحليم عبدالغنى رجب
٤٨٧-	الرحلة الهندية إلى الجزيرة العربية	رفيع الدين المراد آبادى	سمير عبدالحميد إبراهيم
٤٨٨-	الحب الذى كان وقصائد أخرى	نخبة	سمير عبدالحميد إبراهيم
٤٨٩-	هُسرل: الفلسفة علمًا دقيقًا	إدموند هُسرل	محمود رجب
٤٩٠-	أسمار الببغاء	محمد قادرى	عبد الوهاب علوب
٤٩١-	نصوص قصصية من روائع الأدب الأفريقى	نخبة	سمير عبد ربه
٤٩٢-	محمد على مؤسس مصر الحديثة	جى فارجيت	محمد رفعت عواد

٤٩٣-	خطابات إلى طالب الصوتيات	هارولد بالمر	محمد صالح الضالع
٤٩٤-	كتاب الموتى: الخروج فى النهار	نصوص مصرية قديمة	شريف الصيفى
٤٩٥-	اللوبى	إدوارد تيفان	حسن عبد ربه المصرى
٤٩٦-	الحكم والسياسة فى أفريقيا (جـ١)	إكوانو بانولى	مجموعة من المترجمين
٤٩٧-	العلمانية والنوع والدولة فى الشرق الأوسط	نادية العلى	مصطفى رياض
٤٩٨-	النساء والنوع فى الشرق الأوسط الحديث	جوديث تاكر ومارجريت مريودز	أحمد على بدوى
٤٩٩-	تقاطعات: الأمة والمجتمع والنوع	مجموعة من المؤلفين	فيصل بن خضراء
٥٠٠-	فى طفولتى: دراسة فى السيرة الذاتية العربية	تيتز رووكى	طلعت الشايب
٥٠١-	تاريخ النساء فى الغرب (جـ١)	أرثر جولد هامر	سحر فراج
٥٠٢-	أصوات بديلة	مجموعة من المؤلفين	هالة كمال
٥٠٣-	مختارات من الشعر الفارسى الحديث	نخبة من الشعراء	محمد نور الدين عبدالمنعم
٥٠٤-	كتابات أساسية (جـ١)	مارتن هايدجر	إسماعيل المصدق
٥٠٥-	كتابات أساسية (جـ٢)	مارتن هايدجر	إسماعيل المصدق
٥٠٦-	ربما كان قديسًا (رواية)	آن تيلر	عبدالحميد فهمى الجمال
٥٠٧-	سيدة الماضى الجميل (مسرحية)	بيتر شيفر	شوقى فهيم
٥٠٨-	المولوية بعد جلال الدين الرومى	عبدالباقى جلبنارلى	عبدالله أحمد إبراهيم
٥٠٩-	الفقر والإحسان فى عصر سلاطين المماليك	أدم صبرة	قاسم عبده قاسم
٥١٠-	الأرملة الماكرة (مسرحية)	كارلو جولدونى	عبدالرازق عيد
٥١١-	كوكب مرقَّع (رواية)	آن تيلر	عبدالحميد فهمى الجمال
٥١٢-	كتابة النقد السينمائى	تيموثى كوريجان	جمال عبد الناصر
٥١٣-	العلم الجسور	تيد أنتون	مصطفى إبراهيم فهمى
٥١٤-	مدخل إلى النظرية الأدبية	جونثان كولر	مصطفى بيومى عبد السلام
٥١٥-	من التقليد إلى ما بعد الحداثة	فدوى مالطى دوجلاس	فدوى مالطى دوجلاس
٥١٦-	إرادة الإنسان فى علاج الإدمان	آرنولد واشنطون ودونا باوندى	صبرى محمد حسن
٥١٧-	نقش على الماء وقصص أخرى	نخبة	سمير عبد الحميد إبراهيم
٥١٨-	استكشاف الأرض والكون	إسحق عظيموف	هاشم أحمد محمد
٥١٩-	محاضرات فى المثالية الحديثة	جوزايا رويس	أحمد الأنصارى
٥٢٠-	الولع الفرنسى بمصر من الحلم إلى المشروع	أحمد يوسف	أمل الصبان
٥٢١-	قاموس تراجم مصر الحديثة	آرثر جولد سميث	عبدالوهاب بكر
٥٢٢-	إسبانيا فى تاريخها	أميركو كاسترو	على إبراهيم منوفى
٥٢٣-	الفن الطليطلى الإسلامى والمدجن	باسيليو بابون مالدونادو	على إبراهيم منوفى
٥٢٤-	الملك لير (مسرحية)	وليم شكسبير	محمد مصطفى بدوى
٥٢٥-	موسم صيد فى بيروت وقصص أخرى	دنيس جونسون	نادية رفعت
٥٢٦-	أقدم لك: السياسة البيئية	ستيفن كرول ووليم رانكين	محيى الدين مزيد
٥٢٧-	أقدم لك: كافكا	ديفيد زين ميروفتس وروبرت كرمب	جمال الجزيرى
٥٢٨-	أقدم لك: تروتسكى والماركسية	طارق على وفلْ إيفانز	جمال الجزيرى
٥٢٩-	بدائع العلامة إقبال فى شعره الأردى	محمد إقبال	حازم محفوظ وحسين نجيب المصرى
٥٣٠-	مدخل عام إلى فهم النظريات التراثية	رينيه جينو	عمر الفاروق عمر

٥٣١-	ما الذى حَدَثَ فى «حَدَث» ١١ سبتمبر؟	چاك دريدا	صفاء فتحى
٥٣٢-	المغامرُ والمستشرق	هنرى لورنس	بشير السباعى
٥٣٣-	تعلُّم اللغة الثانية	سوزان جاس	محمد طارق الشرقاوى
٥٣٤-	الإسلاميون الجزائريون	سيڤرين لابا	حمادة إبراهيم
٥٣٥-	مخزن الأسرار (شعر)	نظامى الكنجوى	عبدالعزيز بقوش
٥٣٦-	الثقافات وقيم التقدم	صمويل هنتنجتون ولورانس هاريزون	شوقى جلال
٥٣٧-	الحب والحرية (شعر)	نخبة	عبدالغفار مكاوى
٥٣٨-	النفس والآخر فى قصص يوسف الشارونى	كيت دانيلر	محمد الحديدى
٥٣٩-	خمس مسرحيات قصيرة	كاريل تشرشل	محسن مصيلحى
٥٤٠-	توجهات بريطانية - شرقية	السير رونالد ستورس	رءوف عباس
٥٤١-	هى تتخيل وهلاوس أخرى	خوان خوسيه مياس	مروة رزق
٥٤٢-	قصص مختارة من الأدب اليونانى الحديث	نخبة	نعيم عطية
٥٤٣-	أقدم لك: السياسة الأمريكية	باتريك بروجان وكريس جرات	وفاء عبدالقادر
٥٤٤-	أقدم لك: ميلانى كلاين	روبرت هنشل وآخرون	حمدى الجابرى
٥٤٥-	يا له من سباق محموم	فرانسيس كريك	عزت عامر
٥٤٦-	ريموس	ت. ب. وايزمان	توفيق على منصور
٥٤٧-	أقدم لك: بارت	فيليب تودى وآن كورس	جمال الجزيرى
٥٤٨-	أقدم لك: علم الاجتماع	ريتشارد أوزبرن وبورن فان لون	حمدى الجابرى
٥٤٩-	أقدم لك: علم العلامات	بول كوبلى وليتاجانز	جمال الجزيرى
٥٥٠-	أقدم لك: شكسبير	نيك جروم وبيرو	حمدى الجابرى
٥٥١-	الموسيقى والعولمة	سايمون ماندى	سمحة الخولى
٥٥٢-	قصص مثالية	ميجيل دى ثربانتس	على عبد الرءوف البمبى
٥٥٣-	مدخل للشعر الفرنسى الحديث والمعاصر	دانيال لوفرس	رجاء ياقوت
٥٥٤-	مصر فى عهد محمد على	عفاف لطفى السيد مارسوه	عبدالسميع عمر زين الدين
٥٥٥-	الإستراتيجية الأمريكية للقرن الحادى والعشرين	أناتولى أوتكين	أنور محمد إبراهيم ومحمد نصرالدين الجبالى
٥٥٦-	أقدم لك: چان بودريار	كريس هوروكس وزوران جيفتك	حمدى الجابرى
٥٥٧-	أقدم لك: الماركيز دى ساد	ستوارت هود وجراهام كرولى	إمام عبدالفتاح إمام
٥٥٨-	أقدم لك: الدراسات الثقافية	زيودين ساردار وبورين ڤان لون	إمام عبدالفتاح إمام
٥٥٩-	الماس الزائف (رواية)	تشا تشاجى	عبدالحى أحمد سالم
٥٦٠-	صلصلة الجرس (شعر)	محمد إقبال	جلال السعيد الحفناوى
٥٦١-	جناح جبريل (شعر)	محمد إقبال	جلال السعيد الحفناوى
٥٦٢-	بلايين وبلايين	كارل ساجان	عزت عامر
٥٦٣-	ورود الخريف (مسرحية)	خاثينتو بينابينتى	صبرى محمدى التهامى
٥٦٤-	عُش الغريب (مسرحية)	خاثينتو بينابينتى	صبرى محمدى التهامى
٥٦٥-	الشرق الأوسط المعاصر	ديبورا ج. جيرنر	أحمد عبدالحميد أحمد
٥٦٦-	تاريخ أوروبا فى العصور الوسطى	موريس بيشوب	على السيد على
٥٦٧-	الوطن المغتصب	مايكل رايس	إبراهيم سلامة إبراهيم
٥٦٨-	الأصولى فى الرواية	عبد السلام حيدر	عبد السلام حيدر

٥٦٩-	موقع الثقافة	هومى بابا	ثائر ديب
٥٧٠-	دول الخليج الفارسى	سير رويرت هاى	يوسف الشارونى
٥٧١-	تاريخ النقد الإسبانى المعاصر	إيميليا دى ثوليتا	السيد عبد الظاهر
٥٧٢-	الطب فى زمن الفراعنة	برونو أليوا	كمال السيد
٥٧٣-	أقدم لك: فرويد	ريتشارد ابيجنانس وأسكار زارتى	جمال الجزيرى
٥٧٤-	مصر القديمة فى عيون الإيرانيين	حسن بيرنيا	علاء الدين السباعى
٥٧٥-	الاقتصاد السياسى للعولمة	نجير وودز	أحمد محمود
٥٧٦-	فكر ثربانتس	أمريكو كاسترو	ناهد العشرى محمد
٥٧٧-	مغامرات بينوكيو	كارلو كولودى	محمد قدرى عمارة
٥٧٨-	الجماليات عند كيتس وهنت	أيومى ميزوكوشى	محمد إبراهيم وعصام عبد الرءوف
٥٧٩-	أقدم لك: تشومسكى	چون ماهر وچودى جرونز	محيى الدين مزيد
٥٨٠-	دائرة المعارف الدولية (مج١)	جون فيزر وبول سيترجز	بإشراف: محمد فتحى عبدالهادى
٥٨١-	الحمقى يموتون (رواية)	ماريو بوزو	سليم عبد الأمير حمدان
٥٨٢-	مرايا على الذات (رواية)	هوشنك كلشيرى	سليم عبد الأمير حمدان
٥٨٣-	الجيران (رواية)	أحمد محمود	سليم عبد الأمير حمدان
٥٨٤-	سفر (رواية)	محمود دولت آبادى	سليم عبد الأمير حمدان
٥٨٥-	الأمير احتجاب (رواية)	هوشنك كلشيرى	سليم عبد الأمير حمدان
٥٨٦-	السينما العربية والأفريقية	ليزبيث مالكموس وروى أرمز	سهام عبد السلام
٥٨٧-	تاريخ تطور الفكر الصينى	مجموعة من المؤلفين	عبدالعزيز حمدى
٥٨٨-	أمنحوتپ الثالث	أنييس كابرول	ماهر جويجاتى
٥٨٩-	تمبكت العجيبة (رواية)	فيلكس ديبوا	عبدالله عبدالرازق إبراهيم
٥٩٠-	أساطير من الموروثات الشعبية الفنلندية	نخبة	محمود مهدى عبدالله
٥٩١-	الشاعر والمفكر	هوراتيوس	على عبدالتواب على وصلاح رمضان السيد
٥٩٢-	الثورة المصرية (جـ١)	محمد صبرى السوربونى	مجدى عبدالحافظ وعلى كورخان
٥٩٣-	قصائد ساحرة	بول فاليرى	بكر الحلو
٥٩٤-	القلب السمين (قصة أطفال)	سوزانا تامارو	أمانى فوزى
٥٩٥-	الحكم والسياسة فى أفريقيا (جـ٢)	إكوادو بانولى	مجموعة من المترجمين
٥٩٦-	الصحة العقلية فى العالم	روبرت ديجارليه وآخرون	إيهاب عبدالرحيم محمد
٥٩٧-	مسلمو غرناطة	خوليو كاروباروخا	جمال عبدالرحمن
٥٩٨-	مصر وكنعان وإسرائيل	دونالد ريدفورد	بيومى على قنديل
٥٩٩-	فلسفة الشرق	هرداد مهرين	محمود علاوى
٦٠٠-	الإسلام فى التاريخ	برنارد لويس	مدحت طه
٦٠١-	النسوية والمواطنة	ريان قوت	أيمن بكر وسمر الشيشكلى
٦٠٢-	ليوتار:نحو فلسفة ما بعد حداثية	چيمس وليامز	إيمان عبدالعزيز
٦٠٣-	النقد الثقافى	آرثر أيزابرجر	وفاء إبراهيم ورمضان بسطاويسى
٦٠٤-	الكوارث الطبيعية (مج١)	باتريك ل. آبوت	توفيق على منصور

طبع بالهيئة العامة لشئون المطابع الأميرية

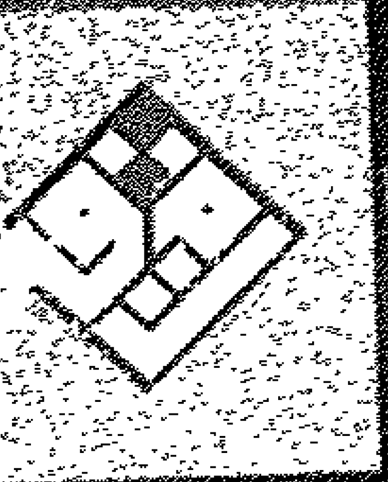
رقم الإيداع ١٧٧٢٠ / ٢٠٠٣



NATURAL DISASTERS

THIRD EDITION

PATRICK L. ABBOTT



أحدث ما صدر فى العالم من كتب تتناول الكوارث الطبيعية وأشملها، فهو يتناول شرحا وافيا ومبسطا ومدعما بالصور والأشكال التوضيحية والجداول والبيانات الإحصائية للزلازل والبراكين وحركات الكتل الأرضية والجليدية والمائية وتغير الطقس والأعاصير والفيضانات والحرائق [illegible] الكثافة السكانية وغير ذلك.

ويتعمق الكتاب فى شرح النظريات والتطبيقات بما يشبع نهم الباحثين [illegible] كما يتبسط فى السرد بما يفيد الطلاب والمثقفين المتطلعين إلى المعرفة. ويركز هذا الكتاب على كيفية إخراج الأرض طاقاتها وتسديد ضرباتها القاصمة للبشر وللإنشاءات ولجميع المخلوقات. يهم الكتاب المتخصصين فى الجغرافيا والچيولوچيا والبيئة، كما يهم رواد الثقافة العامة وهواة قراءة القصص والحوادث والكوارث الطبيعية، ويندر وجود مثيل له فى المكتبة العربية.

